

東京帝國大學
地震研究所彙報

第 23 號

昭和 20 年

BULLETIN
OF THE
EARTHQUAKE RESEARCH INSTITUTE
TOKYO IMPERIAL UNIVERSITY

Vol. XXIII.

1945

東亞圖書公司

新編南洋叢書

第 一 冊

南洋叢書

南洋叢書

南洋叢書

南洋叢書

南洋叢書

南洋叢書

南洋叢書

目 次

第 23 號

第 1 ~ 4 冊 (昭和 20 年 1 ~ 12 月)

1. 異周期異振幅の單弦振動の重ね合せに

よつて生ずる見かけ上の周期について (邦文) 萩 原 尊 禮 1

2. 海底の變動に因つて生ずる津浪について (第 2 報) (邦文) .. 高 橋 龍 太 郎 23

3. 磁氣制振器の制振力に就て (邦文) 力 武 常 次 37

4. 地震動の尾部について (其の 3) (邦文) 表 俊 一 郎 47

5. 水成岩の自然残留磁氣 (第 2 報) (邦文) { 永 田 武
原 尾 美 道
平 邦 雄 79

6. 昭和 18 年 9 月 10 日鳥取地震の被害 (邦文) 岸 上 冬 彦 97

Contents.

Vol. XXIII.

Parts 1-4.—January-December, 1945.

	Page
1. T. HAGIWARA, On the Periods of the Vibration that is produced by Superposing Several Simple Harmonic Vibrations of Different Period and Amplitude. (in Japanese)	1
2. R. TAKAHASI, On seismic Sea Waves caused by Deformations of the Sea Bottom. (Second Report. (in Japanese)).....	23
3. T. RIKITAKE, On the Damping Force of a Magnetic Damper. (in Japanese).....	37
4. S. OMOTE, On the Coda Waves of Earthquake Motions. (Part 3) (in Japanese).....	47
5. T. NAGATA, Y. HARADA and K. HIRAO, The Natural Remanent Magnetism of Sedimentary Rocks, Part II. (in Japanese)	79
6. F. KISHINOUE, Damages from the Tottori Earthquake on Sep. 10, 1943. (in Japanese)	97

1. 異周期異振幅の單弦振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期について

地震研究所 萩 原 尊 禮

(昭和18年3月18日, 同年6月15日發表——昭和20年12月20日受理)

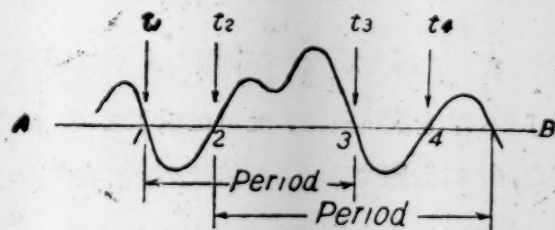
緒 言

曾て石本博士¹⁾は加速度地震記象に現れる振動の周期について其の頻度圖を作り、頻度の最も多い周期を“卓越周期”と呼び、これを土地の固有振動による周期であるとした。この方法は其後色々の人によつて用ひられて來たが、これについては當時から色々と問題となつたのであつて、この頻度極大を與へる周期は果して實在してゐる振動を與へるものかどうか、例へば幾種類かの單純な振動の合成の結果實在しない周期が見かけ上頻度極大となつて現れ、我々の知りたい肝腎のものは隠蔽されてしまつてはゐないか、と云ふ懸念があつた。然し、この問題は深く議論されることなく今日に至つた。この種の問題は、複雑な振動波形の中に、どのような周期の振動が主要な部分として含まれてゐるかを見出すことであつて、一般振動學の立場からも亦重要なことである。

本文は上の問題に關聯した primitive な研究であつて、幾つかの周期振幅を異にした單弦振動を重ね合せた結果、どのような見かけ上の周期が現れ、又それがどのような頻度で現れるかを、數理的に調べたものである。

§ 1 2種類の單弦振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期

本文では或る振動波形が零線を相次いで同一方向に過ぎる點の間の時間的間隔を以て、見かけ上の周期と定義する。例へば第1圖において、ABを零線とすると、時間的間隔 1-3, 2-4, ……等が其處に現れた見かけ上



第 1 圖

1) 石本巳四雄 震研彙報 10 (1932), 171.

の周期である。いま、振幅及び周期を異にした2箇の単弦振動、 $a_1 \sin \omega_1 t$ 及び $a_2 \sin \omega_2 t$ を重ね合せた場合を考える。こゝに a_1, a_2 は振幅、 ω_1, ω_2 は角速度、 t は時間である。各個の周期は夫々 $T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}$, $T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2}$ である。合成波形が零線（時間軸）を過ぎるときには、

$$a_1 \sin \omega_1 t + a_2 \sin \omega_2 t = 0 \quad (1)$$

である。いま、(1) を満す t の系列を

$$t_1, t_2, t_3, t_4, \dots, t_n, \dots$$

とすると、

$$t_3 - t_1, t_4 - t_2, t_5 - t_3, \dots, t_{n+2} - t_n, \dots$$

が合成波形に現れる周期 T の系列である。このやうにして T をきめることにすると、波形が零線を1回過ぎることに對して1箇の T が對應して存在することになる。次に上のやうな方法で極めて澤山の T を測つて行つたとき、どのやうな T がどのやうな頻度で現れるかを調べることにする、(1) から數値計算で T を求めることは困難であるから、次のやうな圖的解法を考へてゆく。即ち、

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 t &= \theta_1, \\ \omega_2 t &= \theta_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

と置くと(1)は

$$a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin \theta_2 = 0 \quad (3)$$

となる。こゝで便宜上、

$$a_2 \geq a_1, \text{ 即ち, } \frac{a_1}{a_2} \leq 1 \quad (4)$$

と考へても一般性は失はない。(3) より

$$\theta_2 = n\pi + (-1)^n \sin^{-1} \left(-\frac{a_1}{a_2} \sin \theta_1 \right) \quad (5)$$

が得られる。こゝに n は0を含む正負の整数である。 $\sin^{-1}$ は主値であつて、 $n=0$ のとき $-\frac{\pi}{2} \leq \theta_2 \leq \frac{\pi}{2}$ の制限のもとに(3)を満す値をとるものとする。(5)において勝手の θ_1 を與へれば、これに對して θ_2 が容易に計算される。(4)の條件により勝手な θ_1 に對應する θ_2 の値は必ず存在する。そこで横軸に θ_1 を、縦軸に θ_2 を取ると第2圖のやうな連続な曲線が得られる。 $\frac{a_1}{a_2}$ の値が小さい程曲線は平坦になり、 $\frac{a_1}{a_2}$ の値が1に近づくと曲線の山と谷は尖る。第3圖は色々の $\frac{a_1}{a_2}$ の値に對する

parts 1~4.] 異周期異振幅の単振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期について 3

曲線であつて、主値だけについて示してある。 $\frac{a_1}{a_2}=1$ の場合は (5) は、

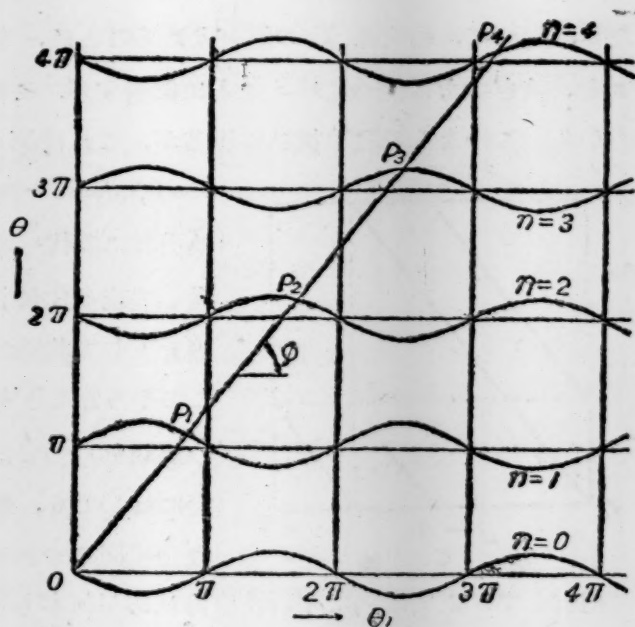
$$\theta_2 = n\pi + (-1)^n \theta_1 \quad (6)$$

となるから曲線は直線となり、山と谷は三角形を形成する。

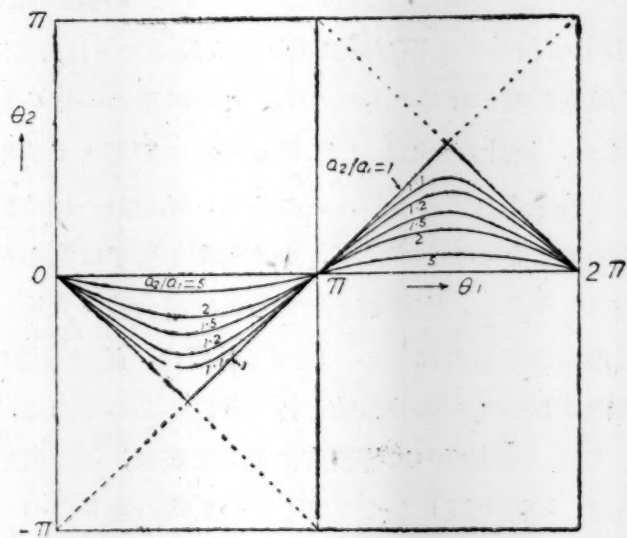
変数 θ_1, θ_2 は $\theta_1 = \theta_2 = 0$ より出發して t が増すにつれて増してゆくが、

$$\frac{d\theta_2}{d\theta_1} = \frac{\frac{d\theta_2}{dt}}{\frac{d\theta_1}{dt}} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \text{一定}$$

であるから、 $\theta_1-\theta_2$ 座標において、これは原点を通り勾配 $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ なる一つの直線軌道の上を進むことになる。この軌道が曲線を切るところでは、(5)



第 2 圖



第 3 圖

従つて(3)の関係が成立つのであるから、このとき合成波形が零線を過ぎる。第2圖で、軌道がOから出發して $P_1, P_2, P_3 \dots$ において順次に曲線を切つてゆくとする、軌道が或一つの曲線を切つてから、次の曲線を切り、更にその次の曲線に到達するまでの時間、例へば、Oから P_2 、或は P_1 から P_3 に達するに要する時間が T に他ならぬ。従つて、圖で線分 $\overline{OP_2}$ 、

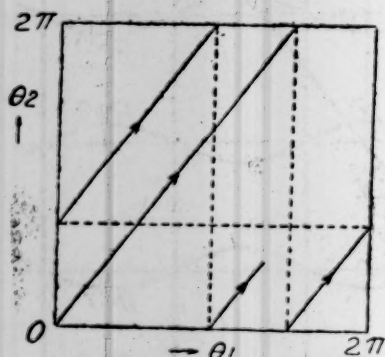
$\overline{P_1P_3}$ 等を縦軸に投影してその長さを縦軸の尺度で讀んだ値を τ とすれば、

$$T = \frac{T_1}{2\pi} \times \tau = \text{常数} \times \tau$$

で與へられる。ここに T_1 は $a_1 \sin \omega_1 t$ の周期 ($2\pi/\omega_1$) である。或は、線分の長さを縦軸の尺度で測つた値を x とし、軌道の横軸に對する傾きの角を ϕ とすれば、 $\tau = x \sin \phi$ であるから、

$$T = \frac{T_1 \sin \phi}{2\pi} \times x = \text{常數} \times x$$

となる。従つて、相次ぐ T の値を求めることは、軌道に沿つて上のやうな線分の長さ x を、次ぎ次ぎに測つてゆくことに歸着する。この軌道は時間と共に無限に延びてゆくから、このまゝでは取扱ひに困るが、これは第4圖のやうな、 $\theta_1=0$, $\theta_1=2\pi$,



第 4 圖

$\theta_2=0$, $\theta_2=2\pi$ の仕切りで圍まれた正方形の中の軌道群に置代へることができる、即ち、0 から出發して或る仕切りに突當つたら、その對應邊に垂線を下して其處から又同じ方向に出發してゆき、このやうなことを繰返すのである。 θ_1 , θ_2 は 2π の周期を持つてゐるから、軌道をこのやうに對應邊に移しても、軌道をそのまゝ延長したのと事柄は全く同等である。このやうにすれば、時間の経過に相當して、正方形内に平行な直線軌道が何本も得られる。このとき軌道の勾配

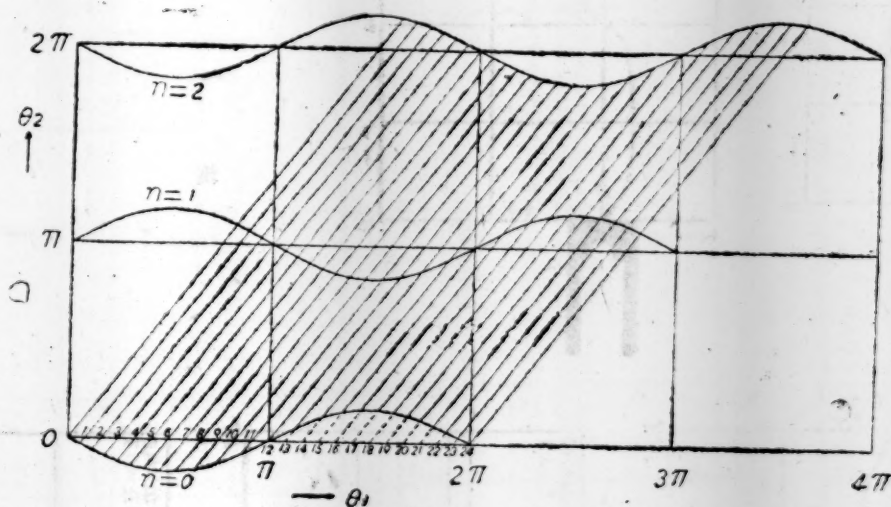
$\tan \phi = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ の値が有理數であれば、軌道は正方形内に有限箇畫かれた後また元の軌道に復歸し、一定の周期で同じことを繰返してゆく。これに反して $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ の値が無理數であるときは、いつまで軌道を延長して行つても再び同じ軌道に立戻することはなく、終に正方形内は一様な密度で隅なく軌道が畫かれることになる。この軌道の一様分布性は Weyl の撞球の問題として知られ、統計力學における Ergode の問題とも關聯してゐるので、既に其の方面で詳しく吟味されてゐる¹⁾。ところで、軌道が一様分布性を持つためには勾配が無理數であることを必要とするが、いま勾配を勝手に選んだ場合にそれが有理數である確率を考へてみると、有理數と無理數とは集合論の立場から見て密度が異なるから、それは零であるとする外はない。従つて軌道は、統計力學の言葉を借りれば“殆ど常に、正方形内において一様分布性を持つと云へるのである。従つて、現在の場合の實際問題としては、正方形内に等密度に軌道を畫き、その軌道が曲線をどのやうに切るかを調べれば、時間を限りなく大きくとつた時の起り得べき T の分布を知ることができることになる。

實際の作圖は、正方形内に軌道を畫いたのでは、曲線間の線分の長さを測るのに不便であるから次のやうにする。即ち、第5圖のやうに、横軸の $0 \sim 2\pi$ の間を等間隔に $0, 1, 2, \dots$ のやうに分け、この點を過ぎり勾配が $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ なる平行直線を幾つも引く、そしてこの直線が $n=0$ の曲線を切る點と $n=2$ を切る點の間の長さを測ることにす

1) 伏見康治 エルゴードの問題 (岩波物理學講座 VI, B, 14.

Parts 1~4.] 異周期異振幅の単弦振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期について 5

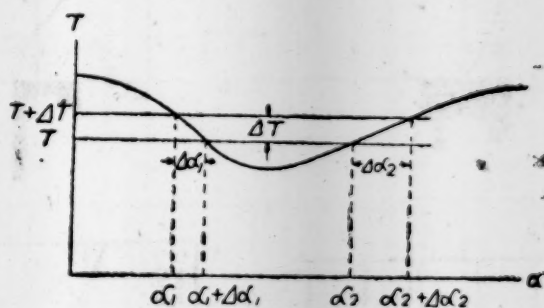
る. θ_1, θ_2 が 2π の周期を持つことを考へれば, これ等の直線群は $\theta_1=0, \theta_1=2\pi, \theta_2=0, \theta_2=2\pi$ の仕切りで囲まれた正方形内の軌道群と全く同等である. これ等の直線群が横軸を過ぎる點の値を α とすれば, α の値によつて, 直線がどの直線である



第 5 圖

かを指定することができる. 正方形内の軌道は等密度に分布されるのであるから, 現在の作圖における直線群もやはり等密度で畫かれるべきである. 従つて, どの直線も α の値には無關係に同等の確率を持つて現れ, ある特定の α の直線が特に現れ易いといふことはない. いま, α の値を横軸

にとり, それに對應する直線が與へる T の値を縦軸にとると第6圖のやうな圖が得られる. 即ち, T は α の函數として與へられる. 或る特定の T の現れる確率を $P(T)$ とすれば, T と $T+\Delta T$ の間にあるやうな周期が



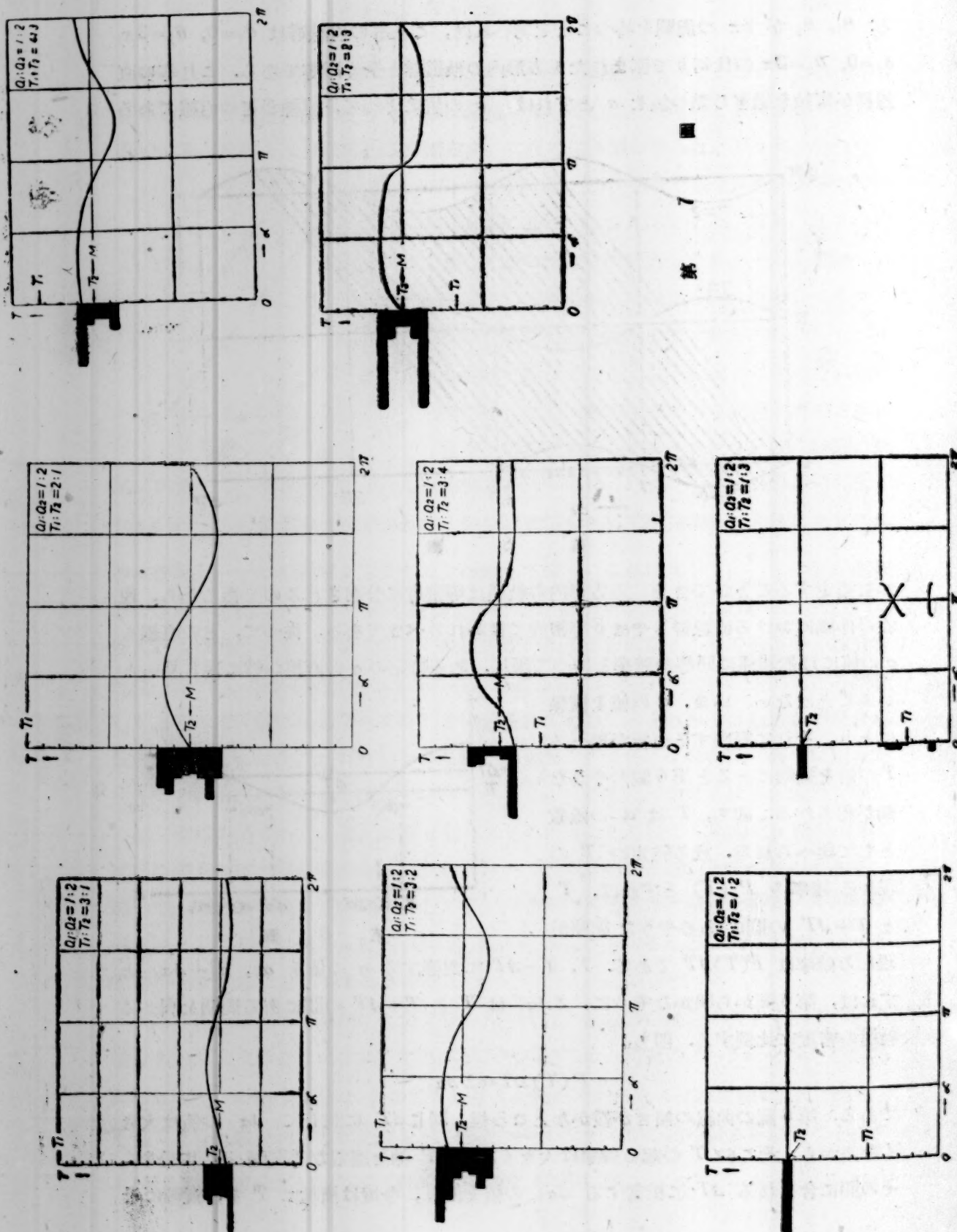
第 6 圖

現れる確率は $P(T)\Delta T$ である. $T, T+\Delta T$ に對應する α の値を $\alpha_i, \alpha_i+\Delta\alpha_i$ とすれば, 第6圖から明かなやうに, $\Sigma\Delta\alpha_i$ は T と $T+\Delta T$ の間にある周期を與へる軌道の密度に比例する. 即ち,

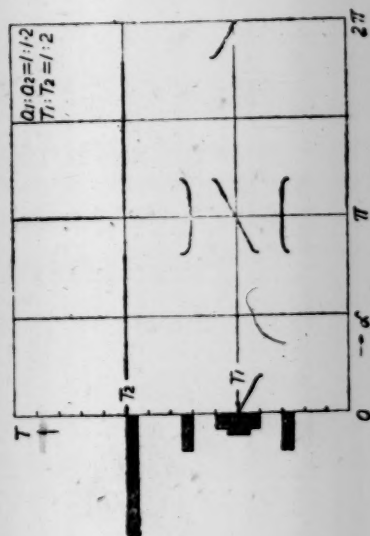
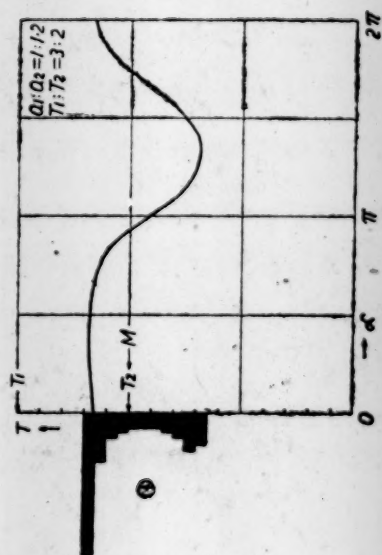
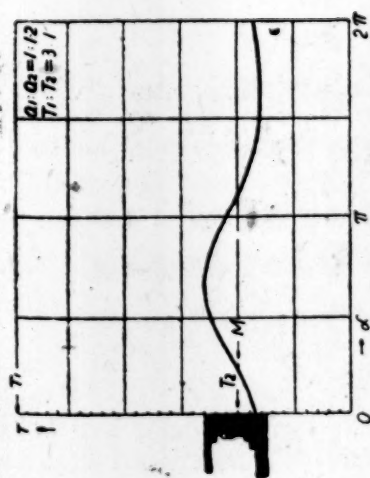
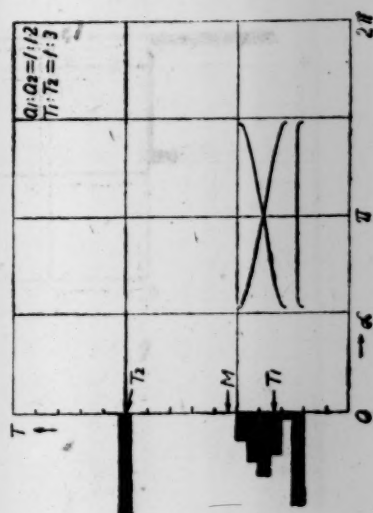
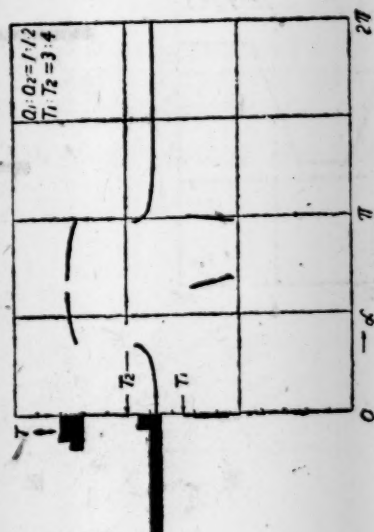
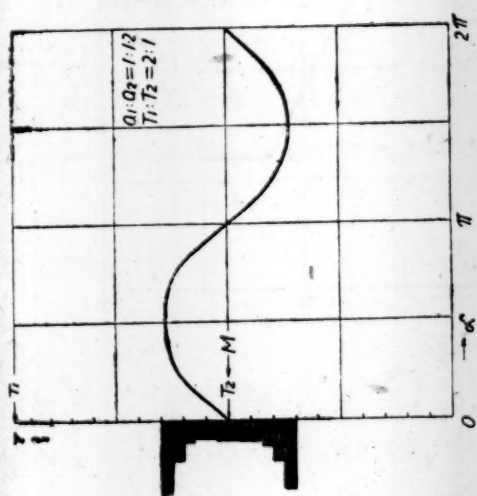
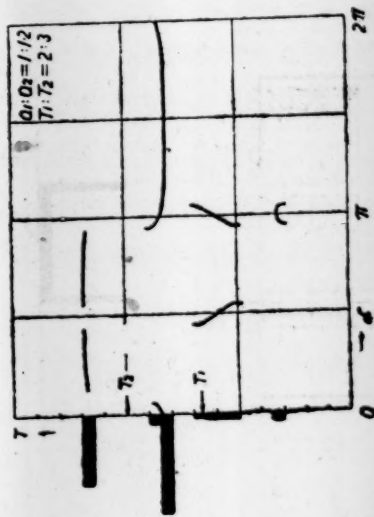
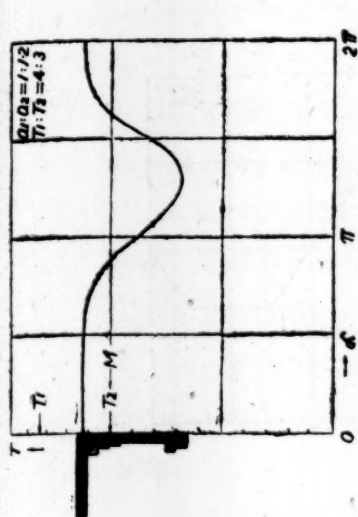
$$P(T)\Delta T \propto \Sigma\Delta\alpha_i$$

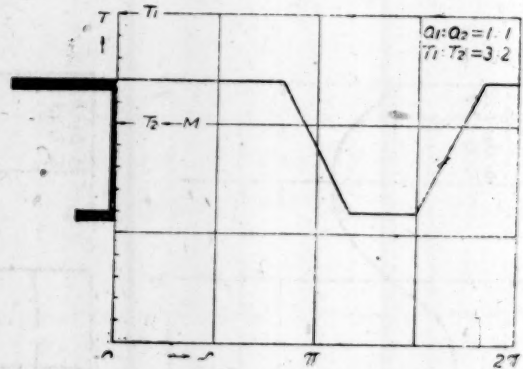
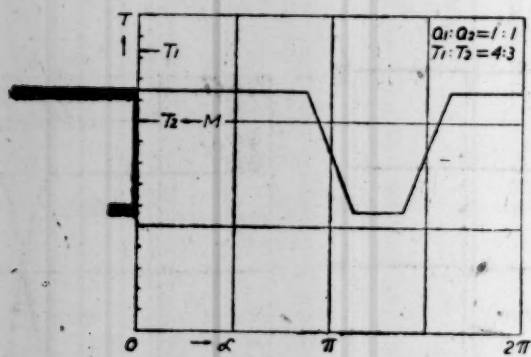
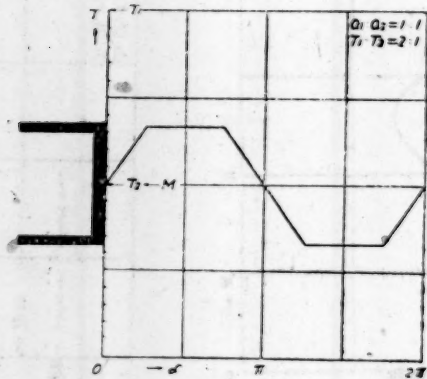
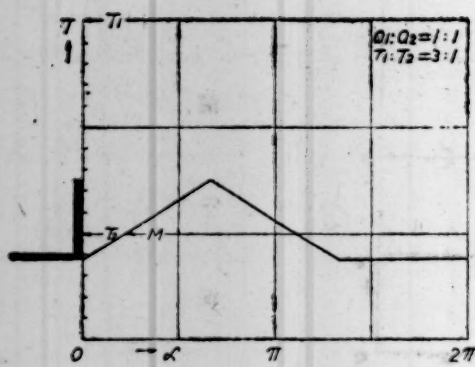
である. 第6圖の曲線の傾きが緩かなところ程, 同じ ΔT に對して $\Delta\alpha$ の値は大きくなるから, そこの T の起る確率は大きくなる. T 軸を適當な等間隔 ΔT に分ち, その間に含まれる ΔT に相當する $\Delta\alpha_i$ の値を測り, 今度は横軸に T を, 縦軸にそ

第 7 圖



Parts 1~4.] 異周期異振幅の単振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期について 7



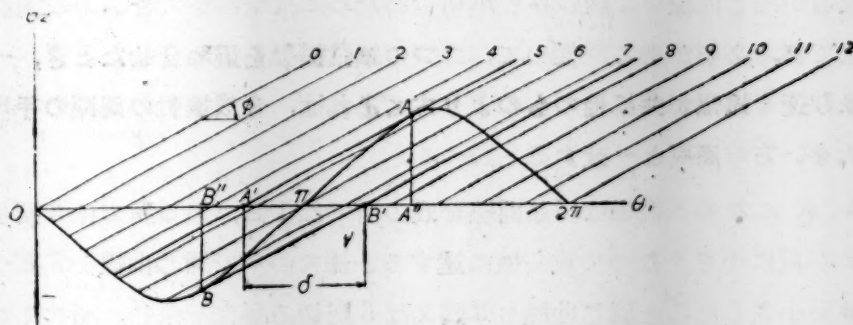


Parts 1~4.] 異周期異振幅の単弦振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期について 9

れに相當する $\Sigma \Delta a_i$ の値を記入すれば、起り得べき T の頻度分布圖が得られる。第 7~9 圖は色々の $\omega_2:\omega_1$, $a_2:a_1$ の値につき上の作圖法によつて求めた $T-\alpha$ 曲線及び T の頻度分布圖である。 ΔT をどのやうな大きさに選ぶかによつて頻度圖の形は多少異なるが、圖では T 軸の尺度を T_1 を單位として、 $\Delta T=0.1$ にとつてある。

上に述べた作圖は $n=0$ の曲線を軌道が切つた後に生ずる T の値を求めたのであるが、この他にも $n=1$ の曲線を切つた後に生ずる T が存在する。然し、これは第 5 圖を見れば明かなやうに、 $n=1$ の曲線に着目して同様の作圖を行つたとしても、全く $n=0$ の曲線について行つたと全く同じ T の分布が得られるから、 $n=0$ の曲線についてのみ作圖を行へば、 T の相對的頻度分布を知る限りにおいて差支へないことが判る。

こゝで問題となることは、 ω_2/ω_1 の値が小さく、軌道の勾配が緩かな場合、或は a_1/a_2 の値が 1 に近くて曲線の山が尖つた場合には、第 10 圖のやうに、直線が $n=0$ の曲線を何回も切ることが起る。圖で 0~4 及び 8~12 の直線は 1 回だけしか $n=0$ の曲線を切らぬが、5, 6, 7 の直線は 3 回曲線を切つてゐる。この場合は一つの α の値に値して 2 つ以上の T の値を得る。即ち、 T は α の多價函數となる。第 8 圖の $T_1:T_2=3:4$, $2:3$, $1:2$, $1:3$ 等の場合がこれに相等する。



第 10 圖

次に、軌道の延長によつて次ぎ次ぎに現れる T の系列を T としたとき平均周期 $\frac{\sum_{i=1,2,\dots,N} T_i}{N}$ がどうなるかといふと、これは前に戻つて第 2 圖を見れば明かな通り、軌道が一つの曲線を 1 回のみ切る場合は軌道が $n=0$ の曲線を切つてから $n=N$ の曲線を切るまでに合計 $N+1$ 回の曲線を切つたことになる。その間の縦軸の値は $N\pi + \epsilon$ ($|\epsilon| \leq \pi$) であるから、縦軸の尺度で測つた平均周期 M は N が充分大きければ、

$$M = \frac{N\pi + \epsilon}{(N+1) - 1} \rightarrow 2\pi$$

従つて平均周期は N を大きくすると限りなく T_1 に近づくことが判る。直線が同じ曲線を何回も切る場合は平均周期は明かに T_1 より小さくなる。

次に、軌道が一つの曲線を1回のみしか切らぬ条件を求めてみる。曲線の切線のうち、最大の傾き ϕ を與へるものは $\theta_1 = \pi$ における切線である。軌道が何處でも同じ曲線を1回のみしか切らぬためには、第10圖を見れば明かな通り、軌道の傾きの角 ϕ が ψ よりも大であればよい。従つて、

$$\tan \phi \geq \tan \psi, \text{ 従つて, } \frac{\omega_2}{\omega_1} \geq \tan \psi$$

然るに、

$$\tan \phi = \left(\frac{d\theta_2}{d\theta_1} \right)_{\theta_1=\pi} = \left(\frac{-\frac{a_1}{a_2} \cos \theta_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{a_1}{a_2} \right)^2 \sin^2 \theta}} \right)_{\theta_1=\pi} = \frac{a_1}{a_2}$$

であるから、

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} \geq \frac{a_1}{a_2} \quad (7)$$

即ち、

$$a_2 \omega_2 \geq a_1 \omega_1$$

即ち、軌道が同じ曲線を1回のみしか切らぬためには振幅が大きい方の振動の速度振幅も亦大である必要がある。従つて、二つの単弦振動を重ね合せたとき、一方の振動の振幅及び速度振幅が共に他のものより大であれば、合成振動の周期の平均値はこの振幅が大きい方の周期と一致すると云へる。

次に、 $\phi < \psi$ になると軌道は同じ曲線を或る所では1回、ある所では3回切ることになり、 ϕ が更に小さくなつて或る値に達すると總ての所で同じ曲線を3回づつ切りこれより ϕ が小さくなると同じ曲線を3回又は5回切る場合を生じ、順次にこのやうにして ϕ が小さくなる程同じ曲線を切る回數が増してゆく。

このやうな場合に平均周期がどうなるかといふに、先づ軌道が同じ曲線を1回又は3回切る場合について考へると、第10圖のやうに、曲線に軌道に平行な切線 $A'A$, $B'B$ を引くと、この二つの切線に挟まれた區域にある軌道5, 6, 7等は何れも3回曲線を切り、この區域外の軌道0~4, 及び8~12は何れも1回だけ曲線を切ることが判る。従つて、軌道を追跡して行つた場合に、 $\frac{\delta}{2\pi}$ の割合で3回曲線を切り、 $1 - \frac{\delta}{2\pi}$ の割合で1回曲線を切つてゆくことになる。ここに δ は二つの切線が軸を切る點 A 及び B' の間の距離である。

従つて、軌道が0より出發して $n=N$ の曲線に至るまでに、 N 箇のうち $N \times \frac{\delta}{2\pi}$

Parts 1~4.] 異周期異振幅の単弦振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期について11

箇の曲線を3回づつ切り, $N \times \left(1 - \frac{\pi}{2\delta}\right)$ 箇の曲線を1回だけ切る 即ち, 總計

$$3N \times \frac{\delta}{2\pi} + N \times \left(1 - \frac{\delta}{2\pi}\right) = N \left(1 + \frac{\delta}{\pi}\right)$$

回だけ曲線を切る. 故に平均周期は, θ_2 軸の尺度で測つて,

$$M = \frac{N\pi}{N \left(1 + \frac{\delta}{\pi}\right) \times \frac{1}{2}} = 2\pi \times \frac{1}{1 + \frac{\delta}{\pi}}$$

となる. 或は T_2 を標準にすれば,

$$M = T_2 \times \frac{1}{1 + \frac{\delta}{\pi}}$$

となる.

ところで切點 A の座標を (θ_1', θ_2') とすると,

$$\tan \phi = \left(\frac{d\theta_2}{d\theta_1} \right)_{\theta_1=\theta_1'}$$

従つて,

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{-\frac{a_1}{a_2} \cos \theta_1'}{\sqrt{1 - \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2 \sin^2 \theta_1'}}$$

である. これより

$$\theta_1' = \pi + \sin^{-1} \sqrt{\frac{\left(\frac{a_1 \omega_1}{a_2 \omega_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{a_1 \omega_2}{a_2 \omega_2}\right)^2 - \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2}}$$

$$\theta_2' = \sin^{-1} \frac{a_1}{a_2} \sqrt{\frac{\left(\frac{a_1 \omega_1}{a_2 \omega_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{a_1 \omega_1}{a_2 \omega_2}\right)^2 - \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2}}$$

を得る. そして, $\frac{\delta}{2} = \pi - \overline{OA'} = \pi - (\overline{OA''} - \overline{A'A''}) = \pi - \left(\theta_1' - \frac{\omega_1}{\omega_2} \theta_2'\right)$ であるから,

$$\frac{\delta}{2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \sin^{-1} \frac{a_1}{a_2} \sqrt{\frac{\left(\frac{a_1 \omega_1}{a_2 \omega_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{a_1 \omega_1}{a_2 \omega_2}\right)^2 - \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2}} - \sin^{-1} \sqrt{\frac{\left(\frac{a_1 \omega_1}{a_2 \omega_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{a_1 \omega_1}{a_2 \omega_2}\right)^2 - \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2}}$$

となる

$\delta = 2\pi$ になれば, 總ての所で軌道が同じ曲線を3回づつ切ることになり $M = \frac{T_2}{3}$



第 11 圖

となるが、この場合は第 11 圖のやうに、軌道 3-3, 3'-3' は曲線の 2 箇所で切することになる。このときの軌道の勾配は、圖から明かなやうに、近似的に曲線の山の高さを $\frac{3}{2}\pi$ で除したものと見做される。従つて、

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\sin^{-1} \frac{a_1}{a_2}}{\frac{3}{2}\pi}$$

となる。總ての所で軌道が同じ曲線を 5 回づつ切る場合は、圖の 5-5, 5'-5' のやうに軌道は 2 箇所で曲線に切する。従つて、前と同様に軌道の勾配は近似的に

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\sin^{-1} \frac{a_1}{a_2}}{\frac{5}{2}\pi}$$

となる。このとき $M = \frac{T_2}{5}$ である。全く同様にして、總ての所で軌道が同じ曲線を m 回づつ切る場合は、

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\sin^{-1} \frac{a_1}{a_2}}{\frac{m}{2}\pi} \quad (m \text{ は奇数})$$

となる。 m が大きい程この近似は正しくなる。このとき、

$$M = \frac{T_2}{m}$$

である。然るに $T_2 = T_1 \times \frac{\omega_1}{\omega_2}$ であるから M を T_1 を標準にして表すと、

$$M = T_1 \times \frac{\frac{\pi}{2}}{\sin^{-1} \frac{a_1}{a_2}}$$

となつて、 M は m に無関係になる。このことは軌道の傾きが或る程度緩かになれば M の値は速かに

$$T_1 \times \frac{\frac{\pi}{2}}{\sin^{-1} \frac{a_1}{a_2}}$$

に近づくことを示す。

上に述べた事は、或る振動波形が零線を相次いで同一方向に過ぎる時間的間隔を以て見かけ上の周期 T とすると云ふ定義から出發した。然し、周期のとり方は必ずしもこれに限られてゐない。屢々用ひられる定義としては、相次ぐ山と山、又は谷と谷の間隔を以てするものがある。これは或る振動曲線を $y(t)=0$ で表すと山又は谷はこの曲線の極大又は極小値のところであるから、そこでは $\frac{dy}{dt}=0$ である。即ち、そこでは振動曲線を微分したものが零線を過ぎることになる。従つて、山又は谷の間の間隔を測つて T とすることは、その曲線を微分したものについて、前に述べた定義に従ひ T をきめることに他ならぬ。

§ 2 3種類の単弦振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期

3種類の単弦振動を $a_1 \sin \omega_1 t$, $a_2 \sin \omega_2 t$, $a_3 \sin \omega_3 t$ で表せば、その合成波形が零線を過ぎるときには、

$$a_1 \sin \omega_1 t + a_2 \sin \omega_2 t + a_3 \sin \omega_3 t = 0 \quad (8)$$

である。前と同様に、

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 t &= \theta_1, \\ \omega_2 t &= \theta_2, \\ \omega_3 t &= \theta_3 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

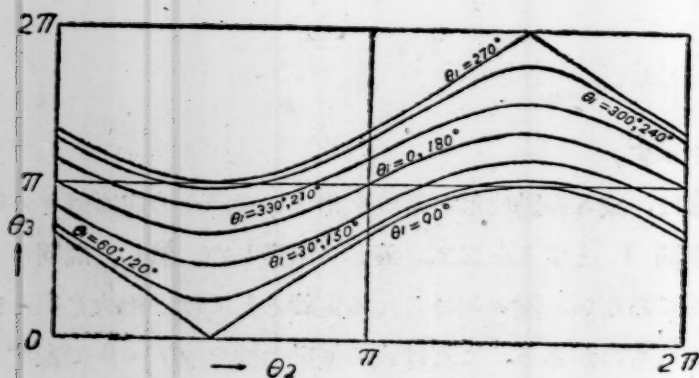
と置くと(8)は

$$a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin \theta_2 + a_3 \sin \theta_3 = 0 \quad (10)$$

となる。これより

$$\theta_3 = n\pi + (-1)^n \sin^{-1} \left[-\left(\frac{a_1}{a_3} \sin \theta_1 + \frac{a_2}{a_3} \sin \theta_2 \right) \right] \quad (11)$$

が得られる。ここに n は 0 を含む正負の整数である。 $\sin^{-1}$ は主値であつて、 $n=0$ のとき $-\frac{\pi}{2} \leq \theta_3 \leq \frac{\pi}{2}$ の制限のもとに(10)を満す値をとるものとする。(11)において、勝手な θ_1 , θ_2 を與へれば θ_3 の値が定まる。一例として第 12 圖に、 $a_1:a_2:a_3=1:1:2$ の場合につき、 θ_1 をパラメーターとした θ_2 と θ_3 (主値)の關係を示す。いま、直角座標 θ_1 , θ_2 , θ_3 を考へると、(11)を満す軌跡は或る曲面を以て與へられることになる。この曲面の形は振幅の比 $a_1:a_2:a_3$ が與へられれば定まる。一例として、第 13 圖に $n=0$ に對し、 $a_1:a_2:a_3=1:1:1$, $1:1:2$, $1:1:3$, $1:2:2$



第 12 圖

1:2:3 の場合について求めた面を示す。圖は θ_1, θ_2 平面に透視したこの面の等高線あるで。 $n=1$ の場合は $\theta_3=\pi$ —主値 であるから、 $\theta_3=\pi$ の平面に對して $n=0$ の場合とは丁度正負符號を逆にした等高線が畫かれる。従つて、 $n=0$ と $n=1$ の面は $\theta_3=\frac{\pi}{2}$ の面に對し對稱である。 $n=2, 4, \dots$ に相等する面は $n=0$ の面と同形であり、ただ高さが異なる、同様に、 $n=3, 5, \dots$ の面は $n=1$ の面と同形で、ただ高さが異なる。このやうに2種類の面が交互に階狀に配列する。第14圖は $a_1:a_2:a_3=1:2:3$ の場合について、曲面を見取圖式に畫いたものである。

變數 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ は t が増すにつれて増してゆくが、これはこの直角座標において一つの直線軌道を畫くことになる。この軌道の方向餘弦を λ, μ, ν とすれば、

$$\lambda:\mu:\nu = \frac{d\theta_1}{dt} : \frac{d\theta_2}{dt} : \frac{d\theta_3}{dt} = \omega_1:\omega_2:\omega_3$$

である。この軌道が(11)の面を切る時が、合成波形が零線を過ぎるときに他ならぬ。従つて、軌道が或る一つの面を切つてから、次の面を切り、更にその次の面を切るまでの時間がこの場合の T である。即ち、一つの面から一つ置いた次の面までに至る軌道の長さを、 θ_3 に投影してその長さを θ_3 の尺度で測つた値を τ とすれば、

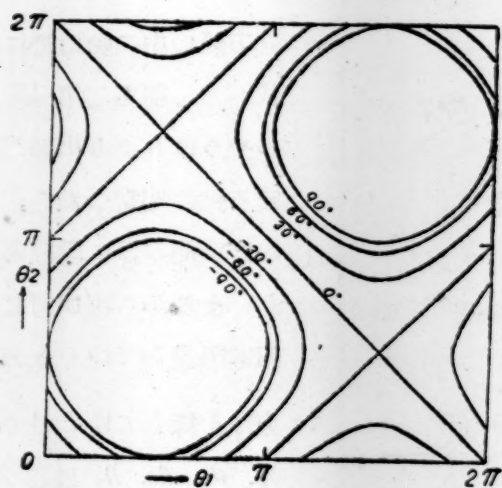
$$T = T_3 \times \frac{\tau}{2\pi}$$

である。こゝに T_3 は $a_3 \sin \omega_3 t$ の周期である。或はこの軌道の長さを直接 θ_3 の尺度で測つた値を x とすれば $\tau = x \cos \mu$ であるから

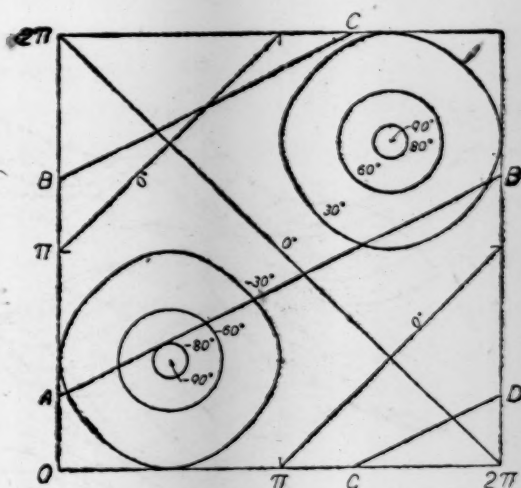
$$T = T_3 \times \frac{x \cos \mu}{2\pi}$$

である。 T の系列を求めることは、軌道に沿つて次ぎ次ぎにこの様な長さを測つてゆくことである。この軌道は時間と共に無限に延びてゆくからこのまゝでは取扱に不便であるから、前節と同様に、 $\theta_1=0, 2\pi; \theta_2=0, 2\pi; \theta_3=0, 2\pi$ の8箇の壁で圍れた

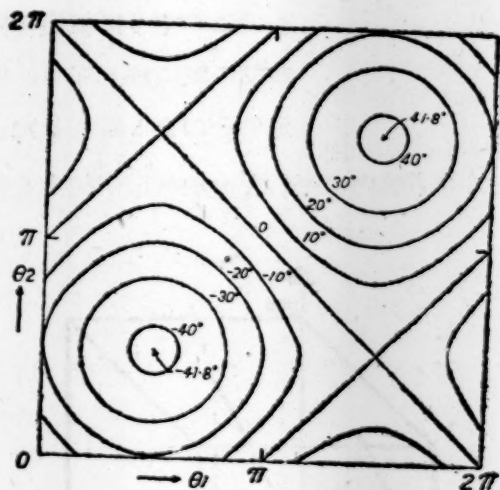
Parts 1~4.] 異周期異振幅の単弦振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期について15



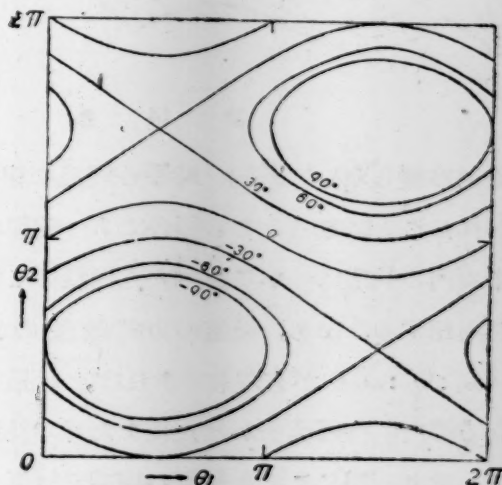
(a) $a_1 : a_2 : a_3 = 1 : 1 : 1$



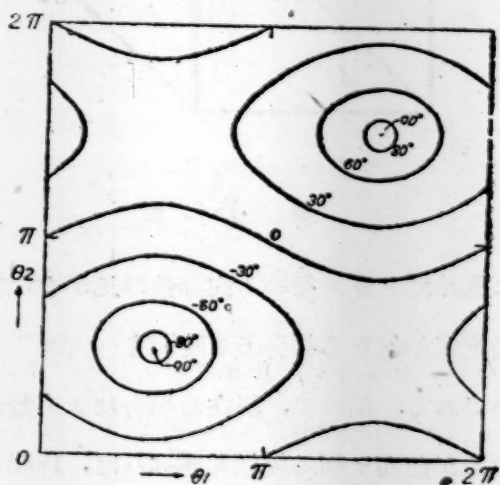
(b) $a_1 : a_2 : a_3 = 1 : 1 : 2$



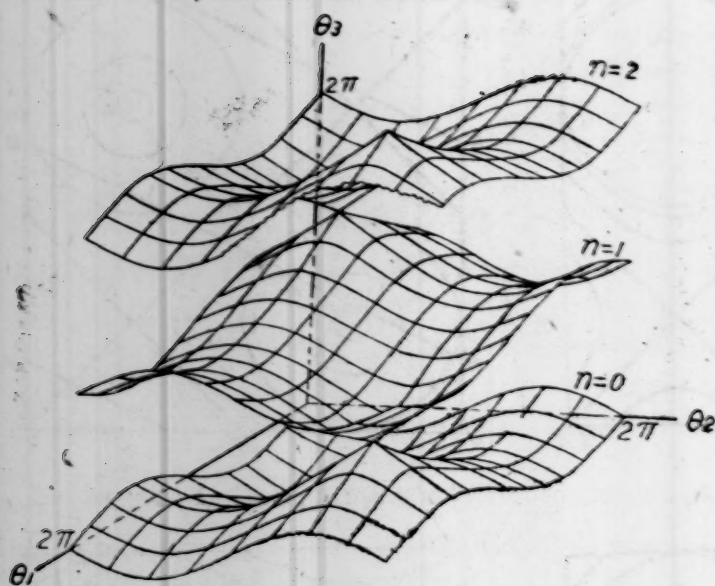
(c) $a_1 : a_2 : a_3 = 1 : 1 : 3$



(d) $a_1 : a_2 : a_3 = 1 : 2 : 2$



(e) $a_1 : a_2 : a_3 = 1 : 2 : 3$

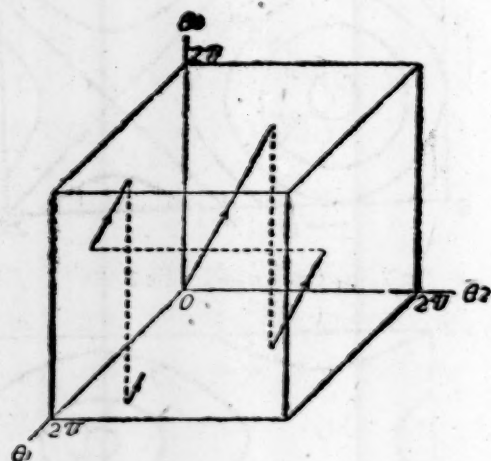


第 14 圖

事柄は變らない。結局、時間の経過に相當して立方體内に平行な直線軌道が何本も畫かれることになる。この場合にも、前節の平面内の軌道について述べたと同様のことが通用する。即ち、軌道の方角餘弦の比 $(\omega_1 : \omega_2 : \omega_3)$ が有理數であれば、軌道は立方體内に有限箇畫かれた後また元の軌道に立戻り、同じことを一定の周期で繰返してゆく。然し、方角餘弦の比が無理數であるときは、軌道は永久に同じ軌道に立歸ることはなく、終に軌道は立方體内の隅々まで行渡りこの中を等密度で埋盡するに至る。このやうに、軌道が一様分布性を持つためには、方角餘弦の比が無理數であるこ

とを必要とするが、或る軌道の勾配を勝手に選んだとき、その方角餘弦の比が有理數である確率は零と見做されるから、軌道の勾配が如何なる場合でも時間さへ大きくとれば一様分布性を持つと云つて差支へないのである。従つて、現在の場合は立方體内に適當な間隔で等密度に軌道を畫き、その軌道が曲面を切る模様を調べれば、時間を限りなく大きく取つたときの T の分布を知ることができる。これは一つの立體圖學

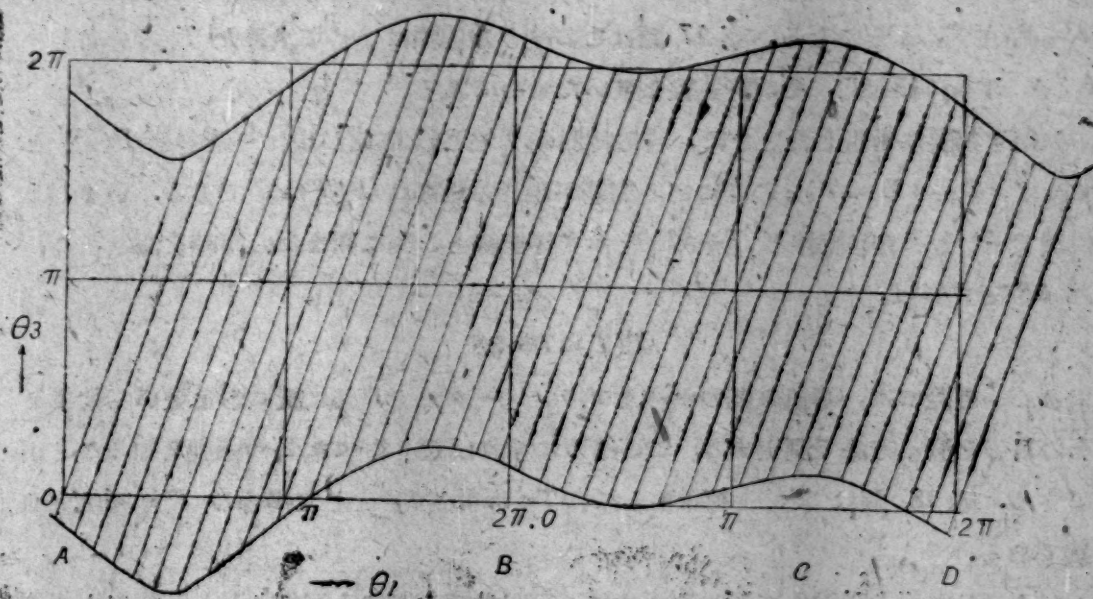
立方體の中の軌道群に置代へる。即ち、第 15 圖のやうに 0 より出發して或る壁に突當つたら、その向ひ側の壁に垂線を下し、そこから再び同じ方向に出發してゆくと云ふ方法を繰してゆくのである。 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ は各 2π の周期性を持つてゐるから、このやうに軌道に向ひ側の壁に移しても、軌道をそのまま延長したと



第 15 圖

の問題に歸する。

實際の作圖は例へば、 $a_1:a_2:a_3=1:1:2$ 、 $\omega_1:\omega_2:\omega_3=2:1:6$ の場合について説明すると次のやうになる。一つの軌道を含む立平面 (θ_3 軸に平行な面) によつて立方體を切つたと考えると、その水平面 (θ_1, θ_2 平面) における切口は第 13 圖(b)の $A-B$ の如くなる。この圖で $A-B$ の θ_1 軸に對する勾配は ω_2/ω_1 である。 $A-B$ の延長は $B-C, C-D$ である。この立平面による曲面の切口を $\theta_1-\theta_3$ 平面に投影したものは、第 16 圖のやうな曲線になる。この圖は第 13 圖より容易に求めることができる。即ち、



第 16 圖

第 13 圖において $A-B$ と曲面の或る等高線との交點に着目し、その θ_1 の値と標高とを讀取り、これを横軸に θ_1 、縦軸に標高を取つてプロットすればよい。(立平面による曲面の切口そのものを作つてもよいが、上のやうにした方が作圖の手数が少ない。) ところで、立平面 $A-B, B-C, C-D$ 内に含まれる軌道を、同じくこの $\theta_1-\theta_3$ 平面へ投影すると平行な直線群となつて現れ、その θ_1 軸に對する勾配は ω_3/ω_1 である。この投影された曲面の切口と軌道について、前章の第 5 圖で行つたと同じ同じやうな方法を行へば、これだけの軌道に關する T の分布を知ることができる。即ち、軌道が $n=0$ の曲面の切口を示す曲線を切つてから、 $n=2$ の曲面の切口を示す曲線に到るまでの長さを θ_3 の尺度で測つた長さを τ とすれば、

$$T = T_3 \times \frac{\tau \cos \alpha}{2\pi}$$

である。こゝに α は投影された軌道と θ_3 軸との間の角であつて、 $\tan \alpha = \omega_1/\omega_3$ である。以上は立方體を軌道を含む一つの立平面で切つた場合であるから、このやうな立平面を適當な等間隔に何枚も考へ、總ての軌道を含有させ、各の立平面について前と同じことを行へば、結局軌道を無限に延長したときの T の分布が求められる。こゝで立方體内の軌道が θ_1, θ_2 平面を過ぎる點の座標を (θ_1, θ_2) とすれば、 (θ_1, θ_2) によつてどの軌道であるかを指定することができる。即ち、 $\theta_1 = 0, 2\pi$; $\theta_2 = 0, 2\pi$ の直線で圍まれる正方形内の點と立方體内の軌道とは1對1に對應する。そして、軌道が同一曲面を引續いて1回以上切ることがなければ、一つの軌道に對應して一つの T が存在することになる。第 17 圖はこのやうな作圖によつて求めた T の分布を θ_1, θ_2 平面に記入し、その等値線を書いたものである。

軌道を無限に延長したときに、或る特別の T と云ふ周期が現れる確率を $P(T)$ とすれば、 T と $T+\Delta T$ との間にある周期が現れる確率は $P(T)\Delta T$ である。いま、上の圖で T を示す等値線と $T+\Delta T$ を示す等値線との間に圍まれた面積を測り、これを ΔS とすれば、

$$P(T)\Delta T \propto \Delta S$$

である。實際には、等値線間の面積をプランメータで、又は紙に形を畫いて切抜きその目方を測る方法で測定する。このやうにすれば起り得べき T の頻度を知ることができる。第 18 圖は T_3 を標準にして $\Delta T = 0.05 \times T_3$ とした場合の T の頻度分布圖である。

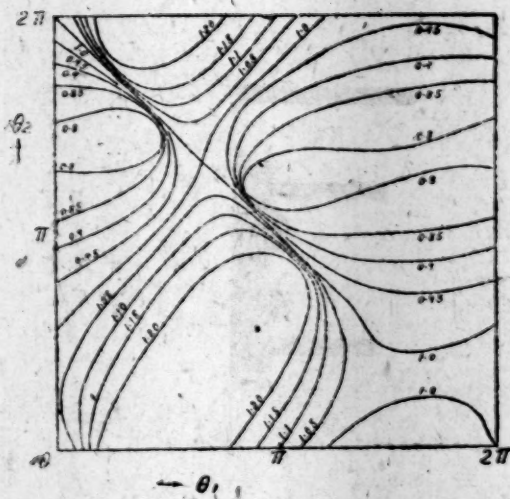
以上は、軌道を追跡して行つたときに、同一曲面を必ず1回切り且つそれ以上は切らぬ場合を考へた。然し、曲面の凹凸が比較的急である場合、軌道の傾きが比較緩かである場合には軌道が同一曲面を3回切る場合が起る。更に甚だしい場合は同一曲面を切る回数が5回、7回と云ふ場合も起り得る。そして例へば、或る部分で同一曲面を3回切るやうな場合は、立方體内の1箇の軌道に對應して3箇の T が存在することになる。即ち、軌道を座標 (θ_1, θ_2) にて指定すると、 $\theta_1-\theta_2$ 平面の或る領域において T は θ_1, θ_2 の3價函数になる。第 17 圖 d は $a_1:a_2:a_3=1:1:2$, $\omega_1:\omega_2:\omega_3=3:2:1$ の場合につき T の分布を $\theta_1-\theta_2$ 平面に記入したもので、平面のある領域では T の値が3種ある。圖で數字に *, ** の印をつけて3種の値を區別してある。この場合の T の頻度分布圖は第 18 圖 d に示してある。

軌道を無限に追跡したとき、何處でも同一曲面を必ず1回切り、それ以上は切らぬ場合は、 $n=1$ の面を切つてから $n=N$ の面を切るまでに丁度 N 回だけ曲面を切ることになるから、平均周期 M は

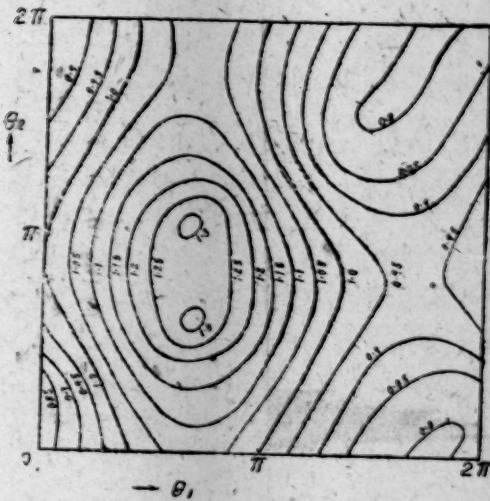
Parts 1~4.] 異周期異振幅の単振動の重ね合せによつて生ずる見かけ上の周期について19

$$M = \frac{N\pi}{\frac{N}{2}} \times \frac{T_3}{2\pi} = T_3$$

となる。



(a) $a_1 : a_2 : a_3 = 1 : 1 : 2$
 $\omega_1 : \omega_2 : \omega_3 = 4 : 2 : 3$
 $T_1 : T_2 : T_3 = 3 : 6 : 4$



(b) $a_1 : a_2 : a_3 = 1 : 1 : 2$
 $\omega_1 : \omega_2 : \omega_3 = 2 : 1 : 6$
 $T_$

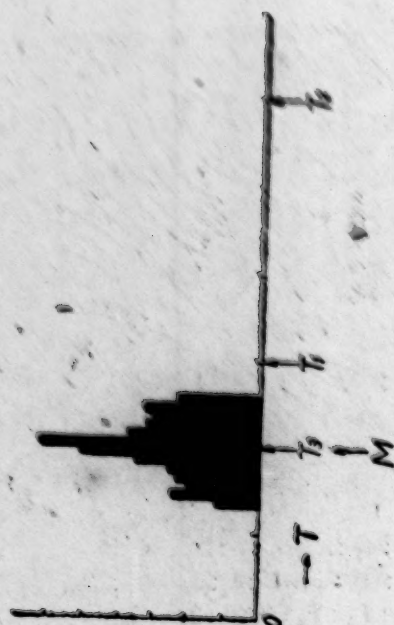


$$\begin{aligned} a_1 : a_2 : a_3 &= 1 : 1 : 2 \\ \omega_1 : \omega_2 : \omega_3 &= 4 : 2 : 3 \\ T_1 : T_2 : T_3 &= 3 : 6 : 4 \end{aligned}$$

(a)

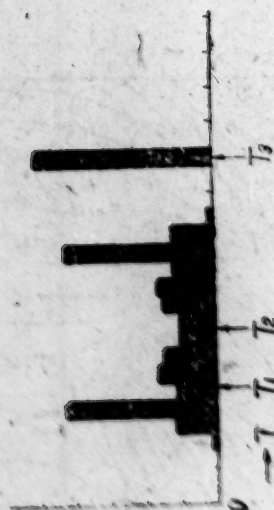
$$\begin{aligned} a_1 : a_2 : a_3 &= 1 : 1 : 2 \\ \omega_1 : \omega_2 : \omega_3 &= 2 : 1 : 6 \\ T_1 : T_2 : T_3 &= 3 : 6 : 1 \end{aligned}$$

(b)



$$\begin{aligned} a_1 : a_2 : a_3 &= 1 : 1 : 2 \\ \omega_1 : \omega_2 : \omega_3 &= 2 : 1 : 3 \\ T_1 : T_2 : T_3 &= 3 : 6 : 2 \end{aligned}$$

(c)



$$\begin{aligned} a_1 : a_2 : a_3 &= 1 : 1 : 2 \\ \omega_1 : \omega_2 : \omega_3 &= 3 : 2 : 1 \\ T_1 : T_2 : T_3 &= 2 : 3 : 6 \end{aligned}$$

(d)

軌道が同一曲面を必ず1回切るためには、曲面が水平方向に連続的に擴つてゐる必要がある。これには如何なる θ_1, θ_2 の値に對しても (11) の θ_3 の値が存在すれば良い。このためには、

$$\frac{a_1}{a_3} + \frac{a_2}{a_3} \leq 1, \text{ 即ち } a_1 + a_2 \leq a_3 \quad (12)$$

ならばよい。また、同一曲面を1回以上切らぬためには、軌道を含む立平面内において曲面に引いた切線の傾き ($\theta_1-\theta_2$ 平面に對する傾き) を ψ , 軌道の傾きを ϕ としたとき、至るところで、 $\phi \geq \psi$ であればよい。いま、曲面上に一點 ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) を考へ、この點を通る軌道に沿つて dt 時間だけ進むと、座標の變化は

$$\left. \begin{aligned} d\theta_1 &= \omega_1 dt \\ d\theta_2 &= \omega_2 dt \\ d\theta_3 &= \omega_3 dt \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

である。一方、この點を通る軌道を含む立平面で曲面を切りこの切口に沿つて進むと水平面における座標變化 $d\theta_1, d\theta_2$ に對する θ_3 の座標變化 $d\theta_3'$ は

$$\begin{aligned} d\theta_3' &= \frac{\partial \theta_3}{\partial \theta_1} d\theta_1 + \frac{\partial \theta_3}{\partial \theta_2} d\theta_2 \\ &= \frac{-\left(\frac{a_1}{a_3} \cos \theta_1 d\theta_1 + \frac{a_2}{a_3} \cos \theta_2 d\theta_2\right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{a_1}{a_3} \sin \theta_1 + \frac{a_2}{a_3} \sin \theta_2\right)^2}} \\ &= \frac{-\left(\frac{a_1}{a_3} \omega_1 \cos \theta_1 + \frac{a_2}{a_3} \omega_2 \cos \theta_2\right) dt}{\sqrt{1 - \left(\frac{a_1}{a_3} \sin \theta_1 + \frac{a_2}{a_3} \sin \theta_2\right)^2}} \end{aligned} \quad (14)$$

となる。 $\phi \geq \psi$ であるためには、 θ_1, θ_2 の如何なる値に對しても、

$$d\theta_3 \geq d\theta_3'$$

即ち、

$$\omega_3 \geq \frac{-\left(\frac{a_1}{a_3} \omega_1 \cos \theta_1 + \frac{a_2}{a_3} \omega_2 \cos \theta_2\right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{a_1}{a_3} \sin \theta_1 + \frac{a_2}{a_3} \sin \theta_2\right)^2}}$$

即ち、

$$\frac{-\left(\frac{a_1 \omega_1}{a_3 \omega_3} \cos \theta_1 + \frac{a_2 \omega_2}{a_3 \omega_3} \cos \theta_2\right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{a_1}{a_3} \sin \theta_1 + \frac{a_2}{a_3} \sin \theta_2\right)^2}} \leq 1 \quad (15)$$

であればよい。即ち、3種の振動の振幅及び速度振幅の關係が(12)及び(15)を満たせば平均周期は T_0 となる。(15)はこれ以上簡単な形に表すことは出来ないので實際には數値計算できめる他はないやうである。

結 語

以上のやうに、2種類又は3種類の單弦振動の重ね合せの結果から見ると、所謂卓越周期と云ふものは特別な場合を除いては存在周期を與へない。合成振動の周期の頻度圖を作つた場合に、實際には存在しない思ひがけない周期の所に相當大きな頻度が現れることがある。

本文は實在する周期の検出に頻度圖の防法を用ひることの危險性を示すものであるが、然らばこれに代つて如何なる方法をとるべきかには觸れてゐない。この方法についてはなほ將來に問題が残されてゐる。

1. *On the Periods of the Vibration that is produced by Superposing Several Simple Harmonic Vibrations of Different Period and Amplitude.*

By

Takahiro HAGIWARA,

Earthquake Research Institute.

The theoretical investigation was done for the periods that appear when two or three simple harmonic motions were superposed.

The calculations were made with a graphical method, and the frequencies of occurrence of the periods were found thereby.

2. 海底の變動に因つて生ずる

津浪について (第2報)

地震研究所 高橋 龍太郎

(昭和18年7月18日發表—昭和19年7月18日受理)

筆者は第1報¹⁾に於いて、海底の圓形地域が一様な隆起、或は陥没をした場合に、海面に如何なる波を生ずるかを計算した。本報に於いては、海底の圓形地域が一様でない複雑な變動を行つた場合に生ずる波に就いて論ずる。

一般的計算 第1報に於けると同じく圓筒坐標の原點を撓亂されない海面に、 z -軸を下向に取る。海の深さを H 、海底の陥没速度 η を

$$\eta(r, \theta, t) = f(r) \cos n\theta \cdot \chi(t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} \chi(t) &= 0 & t < 0 \\ &= 1/T & 0 < t < T \\ &= 0 & T < t \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

と取るならば、海面の降下 ζ は

$$\left. \begin{aligned} \zeta(t) &= \frac{\cos n\theta}{T} [\xi(t) - \xi(t-T)] & t > T \\ &= \frac{\cos n\theta}{T} [\xi(t)] & 0 < t < T \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で與へられる事は既に第1報に於て論じた。此處に ξ は

$$\xi(t) = \int_0^\infty \frac{\sin rt}{r \cosh kH} J_n(kr) k dk \int_0^\infty f(\lambda) J_n(k\lambda) \lambda d\lambda \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{\sin rt}{r \cosh mh} m dm \int_0^\pi \int_0^\infty f(s) J_0(m\Omega) \cos n\omega d\omega s ds \quad \dots\dots\dots (5)$$

但し變動地域の半徑を a とすれば

$$\left. \begin{aligned} m &= ka, \quad h = H/a, \quad s = \lambda/a, \quad \rho = r/a \\ \Omega &= \sqrt{\rho^2 - 2\rho s \cos \omega + s^2} \\ \gamma &= \sqrt{\frac{g}{ah}} \sqrt{m\lambda \tanh mh} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

1) 地震研究所彙報 20 (1942), 375

である。

浅い海の場合 變動地域の廣さに較べて海が非常に浅い場合には

$$H/a \ll 1, \quad c = \sqrt{gH}$$

として、第1報の通り

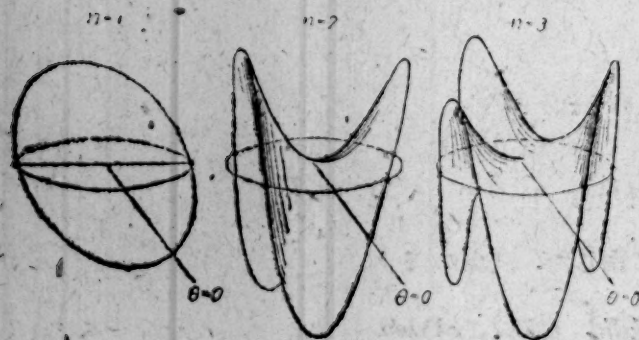
$$\begin{aligned} \xi(t) &= \frac{a}{\pi c} \int_0^\infty \sin m \frac{ct}{a} dm \int_0^\infty f(s) s ds \int_0^\pi J_0(m\Omega) \cos n\omega d\omega \\ &= \frac{a}{\pi c} \iint \frac{f(s) s ds \cdot \cos n\omega d\omega}{\sqrt{\left(\frac{ct}{a}\right)^2 - \Omega^2}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(7)$$

を得る。但し積分は $\frac{ct}{a} > \Omega$ の範囲内に就いて行ふべきである。

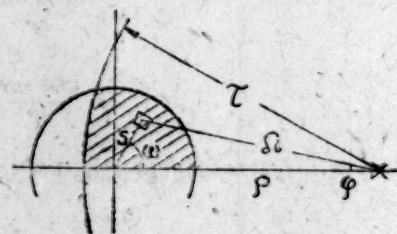
今

$$\begin{aligned} f(s) &= Ls^n & 1 > s > 0 \\ &= 0 & s > 1 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(8)$$

であると假定すれば、 $n=0$ は第1報に於いて計算した圓形地域の均等な陥没を表し、 $n=1$ は圓形地域の傾動を、又 $n=2, n=3$ 等は夫々第1圖に示した様な鞍形、及び鼎



第 1 圖



第 2 圖

形の地變を表す事になる。圖式積分に便利の爲、變數を s, ω から第2圖に示す Ω, φ に變換し、 φ に就いて積分した後、變數 Ω を

$$\tau^2 - \Omega^2 = R^2, \quad \tau = \frac{ct}{a} \quad \dots\dots\dots(9)$$

にて與へられる變數に變換すれば、若干の計算の後次式を得る事が出来る。

$\rho > 1$ のとき

$$\begin{aligned}
 \frac{\pi c}{aL} \xi &= 0 & \tau < \rho - 1 \\
 &= \int_0^{\sqrt{\tau^2 - (\rho-1)^2}} F_n dR & \rho - 1 < \tau < \rho + 1 \\
 &= \int_{\sqrt{\tau^2 - (\rho+1)^2}}^{\sqrt{\tau^2 - (\rho-1)^2}} F_n dR & \tau > \rho + 1
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots\dots(10)$$

$\rho < 1$ のとき

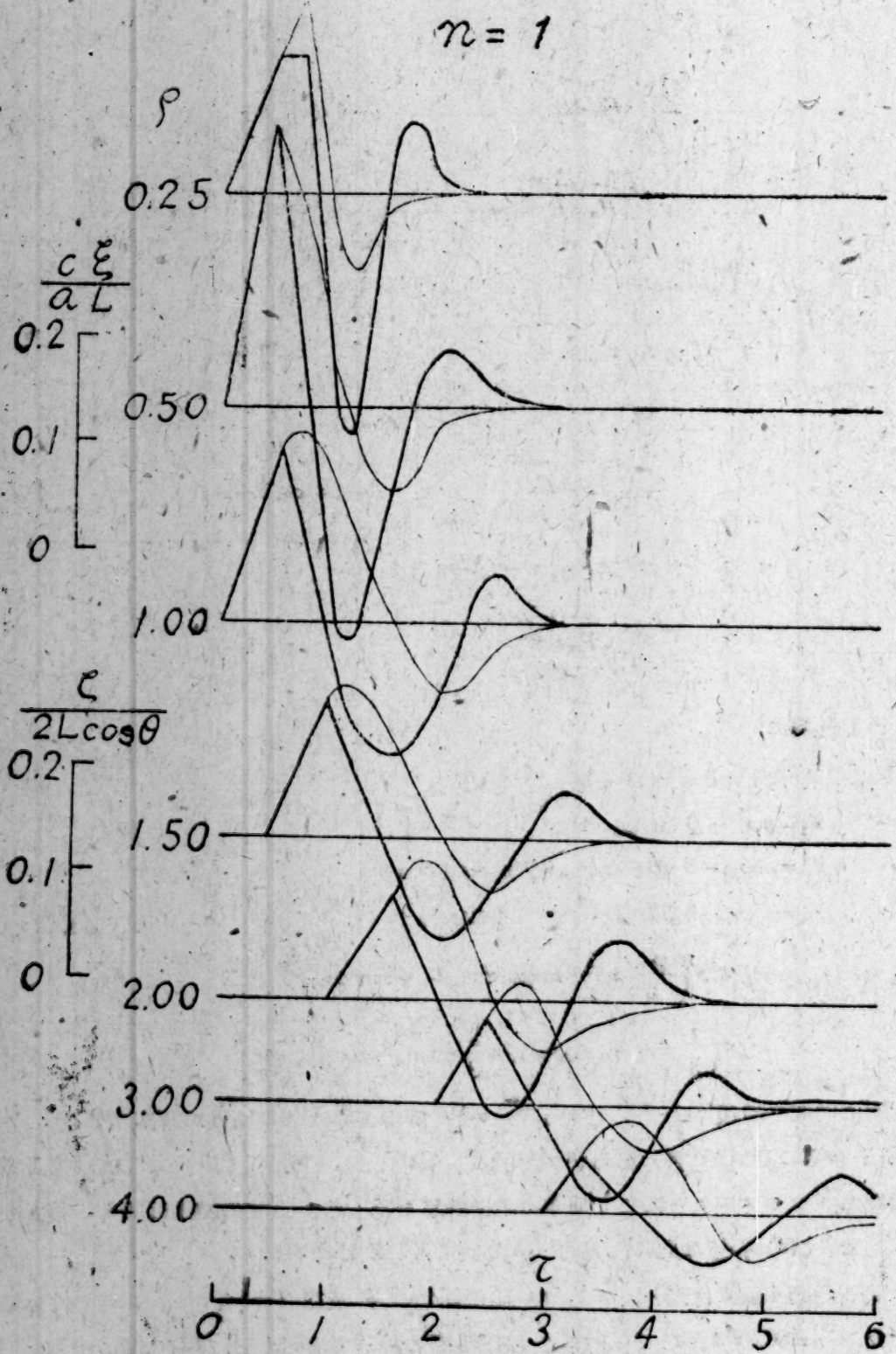
$$\begin{aligned}
 \frac{\pi c}{aL} \xi &= \pi \rho^n \tau & \tau < 1 - \rho \\
 &= \pi \rho^n [\tau - \sqrt{\tau^2 - (1-\rho)^2}] \\
 &+ \int_0^{\sqrt{\tau^2 - (1-\rho)^2}} F_n dR & 1 - \rho < \tau < 1 + \rho \\
 &= \pi \rho^n [\tau - \sqrt{\tau^2 - (1-\rho)^2}] \\
 &+ \int_{\sqrt{\tau^2 - (1+\rho)^2}}^{\sqrt{\tau^2 - (1-\rho)^2}} F_n dR & \tau > 1 + \rho
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots\dots(11)$$

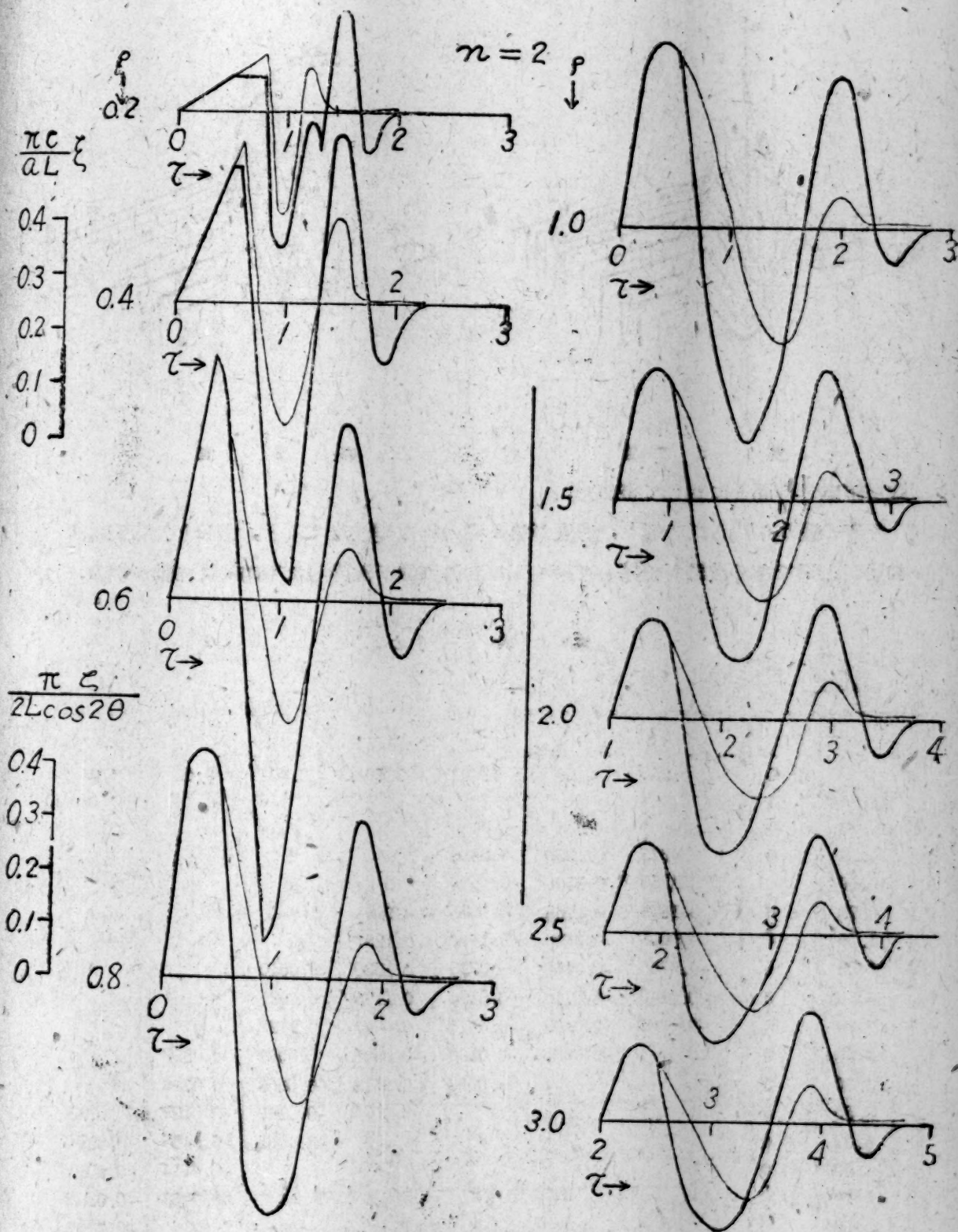
但し此處に

$$\begin{aligned}
 F_0 &= \varphi_m \equiv \cos^{-1}(\Omega^2 + \rho^2 - 1)/2\rho\Omega^2 \\
 F_1 &= \rho\varphi_m - \Omega \sin \varphi_m \\
 F_2 &= \rho^2\varphi_m - 2\rho\Omega \sin \varphi_m + \Omega^2 \sin \varphi_m \cos \varphi_m \\
 F_3 &= \rho^3\varphi_m - 3\rho^2\Omega(1 - \cos \varphi_m + \sin \varphi_m) \\
 &+ 3\rho\Omega^2\left(\frac{\varphi_m}{2} + \frac{1}{2}\sin \varphi_m \cos \varphi_m + \sin^2 \varphi_m\right) \\
 &+ \Omega^3\left(\frac{1}{3}\sin \varphi_m \cos^2 \varphi_m + \frac{2}{3}\sin \varphi_m - \cos^3 \varphi_m + 1\right)
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots\dots(12)$$

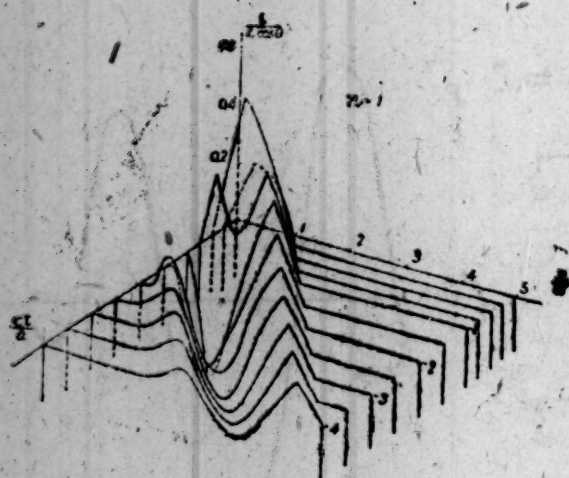
更に同様の手段によつて $n=4, 5, 6 \dots$ 等の複雑な形の地變に對應する $F_4, F_5, F_6 \dots$ 等も求め得る筈であるが煩を恐れて省略した。上記の (10) (11) 式は第1報と同様にブラ＝メーターにより簡単に數値計算を爲し得る。其の結果は第I, 第II表に示した。 $\zeta(t)$ の値は此の結果を (3) 式に入れば得られる。

第3, 第4圖には夫々 $n=1, n=2$ の場合の ξ 及び $T = \frac{1}{2} \frac{a}{c}$ の時の ζ を圖示した。 $n=0$ の場合の ξ 及び ζ は第1報に於いて第1表及び第4圖に示した。第5圖並に第6圖には $n=1$ 及び $n=2$ の場合, $T = \frac{1}{2} \frac{c}{a}$ の時の ζ の變化の有

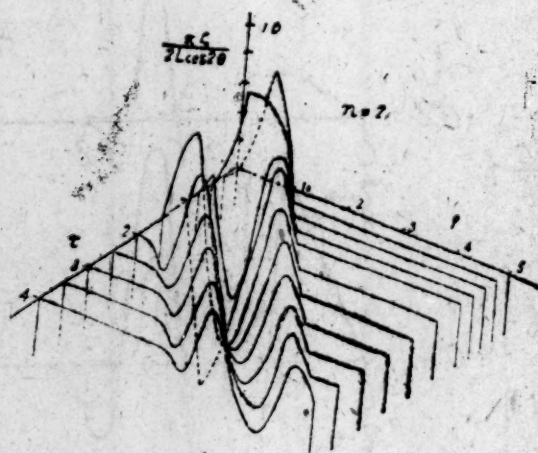
第 3 圖 ξ (細線) 及び ζ (太線), $n=1$.



第 4 圖 ξ (細線) 及び ξ (太線); $n=2$



第 5 圖



第 6 圖

様を距離と時間とに對して畫いた。

此等の圖から看られる通り、海底が第1圖の様な變動をすると、隆起した方向には初動が上潮である波群が傳播してゆくが反對に海底が沈降した方向には初動が引潮で

第 I 表 $\frac{a}{cL}\xi$ の値

$n=1.$

	ρ							
	0	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00
0.00	0	0	0	0				
0.25	0	0.0625	0.1250	0.0830				
0.50	0	0.1250	0.2500	0.1584	0			
0.75	0	0.1875	0.1758	0.1835	0.0881			
1.00	0	0.0005	0.0520	0.1448	0.1287	0		
1.25	0	-0.0766	-0.0400	0.0780	0.1330	0.0610		
1.50	0	-0.0149	-0.0716	0.0198	0.1128	0.1097		
2.00	0	-0.0062	-0.0109	-0.0611	0.0073	0.1190	0	
2.50	0		-0.0036	-0.0150	-0.0546	0.0012	0.0859	
3.00	0			-0.0058	-0.0113	-0.0508	0.0715	0
3.50	0				-0.0022	-0.0120	-0.0129	0.0732
4.00	0					-0.0062	-0.0455	0.0594
4.50	0						-0.0114	-0.0064
5.00	0						-0.0053	-0.0385
5.50	0							-0.0115
6.00	0							-0.0057

第 II 表 $\frac{\pi \epsilon}{aL} \xi$ の値 $n=2$

τ	ρ											
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000						
0.1	0.0	0.013	0.050	0.113	0.201	0.140						
0.2	0.0	0.025	0.101	0.226	0.402	0.240						
0.3	0.0	0.038	0.151	0.339	0.426	0.312						
0.4	0.0	0.050	0.201	0.452	0.418	0.338						
0.5	0.0	0.063	0.252	0.359	0.352	0.328	0.000					
0.6	0.0	0.076	0.302	0.233	0.287	0.312	0.070					
0.7	0.0	0.088	0.136	0.114	0.186	0.270	0.179					
0.8	0.0	0.101	-0.054	-0.007	0.100	0.184	0.223					
0.9	0.0	-0.137	-0.180	-0.105	-0.006	0.104	0.230					
1.0	0.0	-0.184	-0.225	-0.188	-0.084	0.022	0.216	0.000				
1.2		0.089	-0.105	-0.210	-0.226	-0.122	0.135	0.140				
1.4		0.008	0.104	-0.060	-0.189	-0.202	0.010	0.185				
1.6		0.005	0.017	0.080	-0.044	-0.174	-0.103	0.139	0.075			
1.8		0.004	0.009	0.030	0.068	-0.010	-0.186	0.046	0.161			
2.0		0.003	0.006	0.017	0.021	0.060	-0.167	-0.068	0.144	0.000		
2.2		0.000	0.004	0.009	0.012	0.010	-0.075	-0.133	0.060	0.117		
2.4			0.002	0.007	0.008	0.004	0.056	-0.148	-0.025	0.135		
2.6			0.000	0.004	0.007	0.002	-0.015	-0.097	-0.080	0.088	0.052	
2.8				0.000	0.004	0.000	0.005	0.010	-0.135	0.015	0.124	
3.0					0.002	0.000	0.000	0.072	-0.124	-0.074	0.108	0.000
3.25					0.000	0.000	0.000	0.014	-0.050	-0.138	0.032	0.105
3.50								0.010	0.057	-0.113	-0.073	0.098
3.75								0.008	0.008	0.017	-0.130	0.016
4.00								0.007	0.005	0.057	-0.124	-0.071
4.25								0.004	0.000	0.008	-0.013	-0.122
4.50								0.000	0.000	0.007	0.057	-0.100
4.75										0.003	0.008	-0.014
5.00										0.002	0.004	0.058
5.50										0.000	0.000	0.008
6.00												0.004

ある所の波群が傳はつてゆく。そして此等の波群の形は丁度上下正反對である。波高は $\cos n\theta$ に比例してゐる。従つて海底變動の節線の方には津浪は無い事になる。又浪源から少しく離れた所に於ける波群の山の數と谷の數との和は $n+2$ となる。然し波群の全長は延びるわけではなく却つて次第に短くなる傾向にある。従つて海底

の變動が複雑な程、複雑な形で且つ波長の小さな波が傳播してゆく。

浪源上に於ける海面の變動は更に複雑である。極く大體の事を言へば海面は海底の變動の形に似たモードの減衰振動を爲しつつ、其の周圍から上述の進行波を發生するのである。節線上並に地變の中心上に於いては海面の昇降は起らない。

遠方に於ける波の形 第5, 第6圖からも容易に見得る如く、 ρ が少しく大きくなつて來ると波の形は次第に一定になつて來て c の速度で進行してゆく。 $\rho \gg 1$ の時

$$\tau - \rho \equiv \vartheta \quad \dots\dots\dots(13)$$

とすれば、第2圖より

$$\sqrt{\tau^2 - \varrho^2} = \sqrt{\tau + \varrho} \sqrt{\tau - \varrho} = \sqrt{2} \rho \sqrt{\vartheta + s \cos \omega} \quad \dots\dots\dots(14)$$

従つて(7), (8)式より

$$\frac{\pi c}{aL} \sqrt{\rho} \xi(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \iint \frac{s^n \cos n\omega \cdot s ds d\omega}{\sqrt{\vartheta + s \cos \omega}} \quad \dots\dots\dots(15)$$

となる。積分は矢張第2圖の斜線を引いた範圍内を行ふのである。今 $\omega=0$ の方向を x , $\omega=\pi/2$ の方向を y 軸とし上式を直角坐標に轉換すれば、上式は

$$\frac{\pi c}{aL} \sqrt{\rho} \xi(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \iint \frac{G_n dx dy}{\sqrt{\vartheta + x}} \quad \dots\dots\dots(16)$$

となる。但し

$$\left. \begin{aligned} G_0 &= 1, \quad G_1 = x, \quad G_2 = x^2 - y^2 \\ G_3 &= x^3 - 3xy^2, \quad \dots\dots \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(17)$$

である。 y に就いて積分すれば上式(16)は

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{2}} \iint \frac{G_n dx dy}{\sqrt{\vartheta + x}} &= 0, & \vartheta < -1 \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\vartheta}^1 \frac{H_n dx}{\sqrt{\vartheta + x}}, & -1 < \vartheta < 1 \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-1}^1 \frac{H_n dx}{\sqrt{\vartheta + x}}, & \vartheta > 1 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$\equiv \pi K_n(\vartheta)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= y_m, \quad H_1 = xy_m, \quad H_2 = x^2 y_m - \frac{1}{3} y^3 m \\ H_3 &= x^3 y_m - xy^3 m, \quad \dots\dots \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$y_m = \sqrt{1-x^2}$$

(18) 式は明らかに ϑ のみの函数であるから ξ は距離の平方根に逆比例して減少してゆくが、波の形は變らない。(18)式は次の様に變換して容易に圖上積分にて積分出来る。即ち

$$K_n(\vartheta) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \int_{u=\sqrt{\vartheta-1}}^{\sqrt{\vartheta+1}} \frac{H_n du}{u} \quad \left. \begin{array}{l} \\ u = \sqrt{\vartheta+x} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

$K_n(\vartheta)$ の値は第1報第2表、及び本報第3表に示した。

ζ の値は任意の T に對し、(3)式により

$$\zeta(t) = \frac{aL}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho}} \frac{\cos n\theta}{T} \left\{ \begin{array}{l} K_n(\vartheta) - K_n\left(\vartheta - \frac{cT}{a}\right) \quad t > T \\ K_n(\vartheta) \quad 0 < t < T \end{array} \right\} \dots\dots\dots (21)$$

で與へられる。 $a\vartheta$ は波頭から内側へ測つた距離に當る。

第 3 表 K_n の値

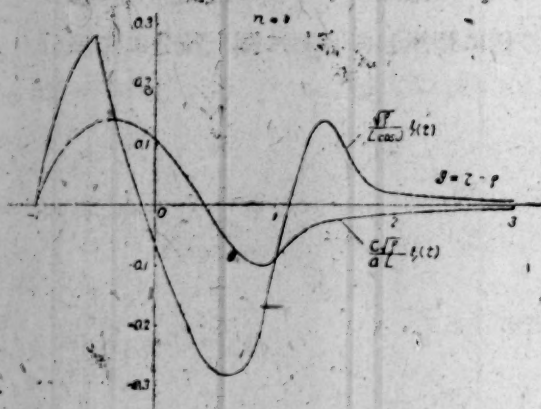
ϑ	$K_1(\vartheta)$	$K_2(\vartheta)$	ϑ	$K_1(\vartheta)$	$K_2(\vartheta)$
-1.0	0.000	0.0000	0.6	-0.057	-0.0351
-0.8	0.085	0.0608	0.8	-0.093	0.0155
-0.6	0.125	0.0621	1.0	-0.088	0.0357
-0.4	0.143	0.0287	1.25	-0.041	0.0093
-0.2	0.135	-0.0198	1.50	-0.026	0.0045
0	0.112	-0.0591	1.75	-0.021	0.0038
0.2	0.062	-0.0795	2.00	-0.014	0.0015
0.4	0.003	-0.0695	3.00	-0.007	0.0002

第7, 第8圖には $\xi(t)$ 並に $T = \frac{1}{2} \frac{a}{c}$ の時の波の形 $\zeta(t)$ が與へてある。

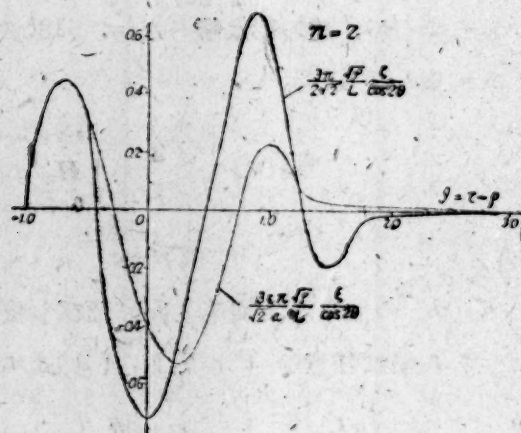
浅くない海の場合 今原点から遠い所のみを取扱ふ事として、 $J_0(m\Omega)$ の漸近式を用ひれば、(5)式は

$$\begin{aligned} \xi(t) &= \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{\sin \gamma t}{\gamma \cosh mh} m dm \int_0^\infty f(s) s ds \int_0^\pi J_0(m\Omega) \cos n\omega d\omega \\ &= \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{a}{\pi g}} \int_0^\infty \frac{\sin \gamma t}{\sqrt{\sinh 2mh}} \cos\left(m\Omega - \frac{4}{\pi}\right) dm \int_0^\infty f(s) s ds \int_0^\pi \frac{\cos n\omega d\omega}{\sqrt{\Omega}} \dots\dots (22) \end{aligned}$$

となる。然る所



第 7 圖



第 8 圖

$$\frac{1}{\sqrt{\Omega}} = \frac{1}{\sqrt{\rho}} \left[1 + \cos \omega \cdot \left(\frac{s}{2\rho} \right) + \left(\frac{5}{4} \cos^2 \omega + \frac{1}{4} \right) \left(\frac{s}{2\rho} \right)^2 + \left(\frac{15}{8} \cos 3\omega + \frac{5}{8} \cos \omega \right) \left(\frac{s}{2\rho} \right)^3 + \dots \right] \dots (23)$$

従つて

$$\left. \begin{aligned} \int_0^\pi \frac{\cos n\omega d\omega}{\sqrt{\Omega}} &= \frac{\pi}{\sqrt{\rho}} \left[1 + \frac{1}{16} \frac{s^2}{\rho^2} + \dots \right] & n=0 \\ &= \frac{\pi}{\sqrt{\rho}} \left[\frac{1}{4} \frac{s}{\rho} + \frac{5}{128} \frac{s^3}{\rho^3} + \dots \right] & n=1 \\ &= \frac{\pi}{\sqrt{\rho}} \left[\frac{5}{32} \frac{s^2}{\rho^2} + \dots \right] & n=2 \end{aligned} \right\} \dots (24)$$

従つて今 (8) 式の通り $f(s) = Ls^n$, $0 < s < 1$ とすれば, (22) 式は

$$\begin{aligned} \xi(t) &= \frac{2LC_n}{\rho^n} \sqrt{\frac{a}{\pi\rho g}} \int_0^\infty \frac{\sin \gamma t}{\sqrt{\sinh 2mh}} \cos \left(m\Omega - \frac{\pi}{4} \right) dm \int_0^1 \frac{s^{2n+1}}{s} ds \\ &= \frac{C_n}{n+1} \frac{L}{\rho^n} \sqrt{\frac{a}{\pi\rho g}} \int_0^\infty \frac{\sin \gamma t}{\sqrt{\sinh 2mh}} \cos \left(m\Omega - \frac{\pi}{4} \right) dm \dots (25) \end{aligned}$$

但し

$$C_0 = 1, C_1 = \frac{1}{4}, C_2 = \frac{5}{32}, \dots \dots (26)$$

と書く事が出来る。即ち $n=1, 2, 3, \dots$ の場合の $\xi(t)$ は $n=0$ の場合の $\xi(t)$ に或る係数を掛けたものに過ぎない事になる。然るに $n=0$ の場合は第 1 報に於て種々の場合を盡してあるから、其の結果を其の儘應用して次の結果を得る事が出来る。即

ち

$$\begin{aligned}
 \frac{(n+1)\rho^n}{LC_n} \xi(t) &= \left(\frac{a}{2\rho gh^2 |\gamma_0''| t} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\sin\left(\gamma_0 t - \frac{\rho}{h} z_0\right)}{\sqrt{\sinh 2z_0}} && \text{波群の中間, 即ち} \\
 &&& \text{中庸な群速度を持} \\
 &&& \text{つ波} \\
 &= 0.46386 \sqrt{\frac{a}{\pi \rho gh^2}} \left(\frac{3}{4} \frac{\rho}{h} \right)^{\frac{1}{6}}, && r = \sqrt{gH} \cdot t \text{ の點} \\
 &= \sqrt{\frac{a}{\pi \rho gh^2}} \left(\frac{3}{32} \sqrt{\frac{H}{g}} \frac{1}{t} \right)^{\frac{1}{6}} [C(m) - S(m)] && \text{波の先頭附近} \\
 &&& \text{の波群} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{a^{\frac{1}{2}} t}{r^2} e^{-\frac{gHt^2}{4r^2}} \sin \frac{gt^2}{4r} && \text{波の尾部, 或は} \\
 &&& \text{稍深い海の場合} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{a^{\frac{1}{2}} t}{\sqrt{r(H^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}} e^{-\frac{gHt}{4(H^2 + r^2)}} \sin\left(\frac{rgt^2}{4(H^2 + r^2)} + \frac{3}{4}\pi - 3\beta\right) \\
 \beta &= \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{r}{H} && \text{非常に深い海}
 \end{aligned}$$

各種記號は第1報と同様である。

~~~~~

此の研究は文部省科學研究費を以て爲された事を記し、當局各位に深謝の意を表する次第である。又數値計算び圖表製作の勞を取られた相田勇君及び服部芳子嬢に感謝の意を表する次第である。

## 2. On Seismic Sea Waves caused by Deformations of the Sea Bottom. Second Report.

(Abstract)

By Ryutro TAKAHASI,

Earthquake Research Institute.

In a previous paper, the writer has treated the seismic sea waves which would be generated when a circular portion,  $2a$  in diameter, of the bottom of a sea having a uniform depth  $H$ , has depressed by a uniform velocity  $\eta$  in a time-interval  $T$ . In the present paper, the depression was assumed to have azimuthal and radial variations proportional to  $r^n \cos n\theta$ , other factors being the same with those in the previous calculation. The shapes of the deformation of the sea bottom are shown in Fig. 1 in the text, i.e.,  $n=1$  gives an inclinational,  $n=2$  a saddle-shaped, and  $n=3$  a tripod-shaped deformation.

The depression  $\zeta$  of the sea surface at a distance  $r$  from the centre of the deformed area is given by the expression

$$\begin{aligned}\zeta(t) &= \frac{1}{T} \cos n\theta [\xi(t) - \xi(t-T)], & \text{when } t > T, \\ &= \frac{1}{T} \cos n\theta \xi(t) & \text{when } 0 < t < T.\end{aligned}$$

similarly with the former results. The function  $\xi(t)$  for different cases is as follows: When  $H \ll a$ , that is, when the sea is very shallow compared with the radius of the deformed area,

$$\frac{\pi c}{aL} \xi(t) = \int \cos n\omega \, d\omega \int \frac{s^{n+1} ds}{\sqrt{\left(\frac{ct}{a}\right)^2 - \Omega^2}},$$

where  $c = \sqrt{gH}$ ,  $\Omega = \sqrt{\left(\frac{r}{a}\right)^2 + s^2 - 2s\left(\frac{r}{a}\right)\cos\omega}$ , and the integration ought

to be executed over the area  $s < 1$ ,  $\Omega < \frac{ct}{a}$ . The double integral can be deformed, after some calculations, to expressions as shown in (10) and (11) in the text, then the evaluation is easily done by mechanical quadrature.

The values of  $\xi$ , thus obtained for the cases  $n=1$  and  $n=2$ , are given in Tables I and II, against  $\rho \equiv \frac{r}{a}$  up to 4.0 and  $\tau \equiv \frac{ct}{a}$  up to 6.0. In Figs. 3 and 4 are shown  $\xi$  (thin line) against  $\rho$  and  $\tau$ , and  $\zeta$  (thick line), or the wave-form in the direction  $\theta=0$ , for the case  $T = \frac{1}{2} \frac{a}{c}$ . The same  $\zeta$  is again given in Fig 5 and 6 to show its variation against the time and distance at a glance.

It can be seen from these figures that the sea waves which begin with flood start from an upheaved area, and those which begin with ebb originate from the depressed origin. Both wave trains are similar in shape but are just opposite in sign. In the direction of nodal line of the sea bottom deformation, there is propagated no sea wave. The total number of crests and valleys of the wave train at some distance from the origin is  $n+2$ . The more complicated is the deformation of the sea bottom, the more complicated are the emitted waves.

When  $r \ll a$ , we have

$$\frac{c}{aL} \sqrt{\rho} \xi(t) = K_n(\vartheta), \quad \vartheta \equiv \tau - \rho.$$

The function  $K_n$ , which is the function of  $\vartheta$  alone, is given by the expressions (19) and (21) in the text. It can easily be seen that the waves at distances are propagated with the constant velocity  $c$  and invariable wave-form, but with wave height decreasing like  $1/\sqrt{r}$ .

When  $H \gg a$ , that is, when the sea is very deep compared with the radius of the deformed area, we have for  $\xi$  the expression

$$\begin{aligned}\xi(t) &= \frac{C_n}{n+1} \frac{L}{\rho^n} \sqrt{\frac{a}{\pi \rho g}} \int_0^\infty \frac{\sin \gamma t}{\sqrt{\sinh 2mh}} \cos\left(m\Omega - \frac{\pi}{4}\right) dm, \\ C_0 &= 1, \quad C_1 = 1/4, \quad C_2 = 5/32, \quad \dots\dots\dots,\end{aligned}$$



which show directly that  $\xi$  for the cases  $n=1, 2, \dots$  is nothing but  $\xi$  obtained previously for the case  $n=0$ , multiplied by respective coefficients.

In the previous paper, we have studied completely the case  $n=0$  for different depths of the sea and for all distances; we need not here calculate newly the cases  $n=1, 2, \dots$  but can obtain immediately the following results:

$$\frac{(n+1)\rho^n}{LC_n} \xi(t) = \left( \frac{a}{2\rho g h^2 |r_0| t} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\sin\left(r_0 t - \frac{\rho}{h} z_0\right)}{\sqrt{\sinh 2z_0}},$$

for the middle part of a wave train, that is, for waves having medium group velocities;

$$= 0.46386 \sqrt{\frac{a}{\pi \rho g h^2}} \left( \frac{3}{4} \frac{h}{\rho} \right)^{\frac{1}{6}}$$

for the point  $r = \sqrt{gH} t$ ;

$$= \sqrt{\frac{a}{\pi \rho g h^2}} \left( \frac{3}{32} \sqrt{\frac{H}{g}} \frac{1}{t} \right)^{\frac{1}{6}} [C(m) - S(m)]$$

for the part near the front of the wave train;

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{a^2 t}{r^2} e^{-\frac{gHt^2}{4r^2}} \sin \frac{gt^2}{4r}$$

for the rear part of the wave train, or for the deep sea.

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{a^2 t}{\sqrt{r(H^2 + r^2)^{3/2}}} e^{-\frac{gHt^2}{4(H^2 + r^2)}} \sin \left( \frac{rgt^2}{4(H^2 + r^2)} + \frac{3}{4}\pi - 3\beta \right), \quad \beta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{r}{H},$$

for the very deep sea.

Notations are the same with those used in the previous paper.

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...



### 3 磁氣制振器の制振力に就て

地震研究所 力 武 常 次

(昭和20年10月16日發表——昭和20年12月20日受理)

#### § 1, 緒 言

地震計磁氣制振器の設計に際し豫め制振力がどの程度の大きさを有するかを決定する必要があるが、萩原尊禮教授<sup>1)</sup>に依れば、磁氣制振器の單位速度に對する制振力  $f$  は次式で與へられる。

$$f = \frac{C\phi^2\sigma D}{S}$$

茲に  $\phi$  は全磁束、 $\sigma$  は金屬板の比電氣傳導度、 $D$  は金屬板の厚さ、 $S$  は磁場の面積である。 $C$  はディメンションを持たない量で磁場及金屬板の幾何學的形狀に依り決定せられる。萩原教授は磁場の形狀が矩形を爲し、金屬板が無限に大きい場合に就て  $C$  の値を理論的に求められ、また磁場が矩形若くは圓形を爲し金屬板の面積が有限なる種々の場合に就き實驗的に  $C$  の値を決定せられた。

本報文に於ては、磁場の形狀が矩形を爲し金屬板の面積が有限なる場合に就き理論的に  $C$  の値を計算し萩原教授の實驗的に求められた値との比較を試みた。

#### § 2. 金屬板の反抗力

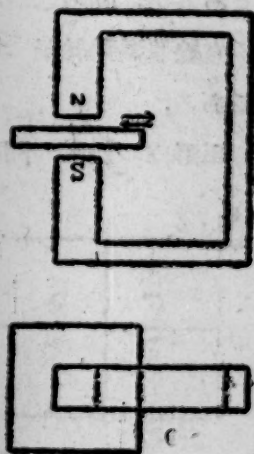
地震計磁氣制振器の普通の型として第 1 圖の如き場合を採る。

現象は準定常的であるから

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\vec{i} = \sigma_0 \vec{E} \quad \dots\dots\dots(2)$$

が成立する。茲に  $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{i}$ ,  $\sigma_0$  は夫々電場の強さ、磁束密度、電流密度及比電氣傳導度を表はす。(1) と (2) の兩式より



第 1 圖

1) 萩原尊禮 地震研究所彙報 12 (1934), 482~491

2) 矢印を附せるは vector 量

$$\text{rot } \vec{i} = -\sigma_0 \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(3)$$

が得られる。第一圖に見る如く金屬板は矩形断面を有する磁極に因つて發生する磁場中を移動するわけであるが、簡單の爲に磁束密度は磁極の間の部分では一定値  $\vec{B}_0$  を有し、外部では到る處零であると假定する。(これは前記載原教授の論文に於ける取扱ひと全く同様である。)即ち、第2圖の如く、矩形金屬板  $A'B'C'D'$  中  $ABCD$  なる部分のみ磁束密度  $\vec{B}_0$  を有し他は到る處零であるとする。磁氣力線は紙面に垂直に上方に向ひ、金屬板は  $v$  なる速度で左方に移動するものとする。磁束の變化は  $AB$  及  $CD$  の兩縁に於てのみ起る。従つて  $AB$  上の線素を  $dy_0$  とすれば

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} dy_0 = -\vec{B}_0 v dy_0 \quad \dots\dots(4)$$

従つて、 $AB$  及  $CD$  上に於て

$$\text{rot } i dy_0 = \sigma_0 \vec{B}_0 v dy_0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

勿論  $AB$  及  $CD$  の上を除いて

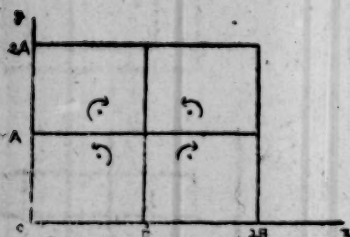
$$\text{rot } \vec{i} = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

である。

こゝで  $AB$  上の  $\text{rot } \vec{i}$  に起因する金屬板  $A'B'C'D'$  内の電流の分布を求めるわけであるが、問題は矩形  $A'B'C'D'$  に囲まれた非壓縮性流体内に於て、強さ  $B_0 v \sigma_0$  なる直線狀渦動線が  $AB$  上に分布してゐる場合の速度の分布を求めることと全く同等である。

矩形内の渦動の問題は、寺澤博士<sup>3)</sup>の方法に従つて適當な影像を考へることに依て

解決する事が出来る。即ち四角な切口を有する無限に長い槽形の中に流體があつてその中に  $\kappa$  なる強さの渦線が槽壁に平行にあるとする。第3圖の如く一つの切口を座標面にえらび  $x=0$   $x=B$ ;  $y=0$ ,  $y=A$  を夫々切口の水平及鉛直の邊とする。渦  $\kappa$  のある點を  $(x_0, y_0)$  或は



第 3 圖

3) 寺澤寛一 航空研究所報告 No. 44 (1928) 69~81  
航空研究所彙報 No. 49 (1928) 231~239  
帝國學士院記事 4 (1396), 141~144



$$z_0 = x_0 + iy_0$$

とする。此の場合の流れは與へられた渦の外に次の三つの渦

$$-\kappa \text{ を } z_1 = (2B - x_0) + iy_0 \text{ に}$$

$$-\kappa \text{ を } z_2 = x_0 + i(2A - y_0) \text{ に}$$

$$+\kappa \text{ を } z_3 = (2B - x_0) + i(2A - y_0) \text{ に}$$

配置し

$$2\omega_1 = 2B, \quad 2\omega_3 = 2iA$$

なる周期を有する適当な複周期函数を使用することによつて解き得る。

今複素速度ポテンシャルを

$$\Phi = \frac{\kappa}{2\pi i} \log \frac{\sigma(z - z_0)\sigma(z - z_3)}{\sigma(z - z_1)\sigma(z - z_2)} \quad \dots\dots\dots(7)$$

とすれば、共軛複素速度は

$$\begin{aligned} u - iv &= \frac{d\Phi}{dz} \\ &= \frac{\kappa}{2\pi i} \left\{ \zeta(z - z_0) - \zeta(z - z_1) - \zeta(z - z_2) + \zeta(z - z_3) \right\} \quad \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

(8) の實數部虚數部をわけると

$$\begin{aligned} u &= -\frac{\kappa}{4\pi} \left\{ \frac{\bar{\zeta}'(y - y_0)}{\zeta(x - x_0) + \zeta(y - y_0)} - \frac{\bar{\zeta}'(y - y_0)}{\zeta(x + x_0) + \zeta(y - y_0)} - \frac{\bar{\zeta}'(y + y_0)}{\zeta(x - x_0) + \bar{\zeta}(y + y_0)} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\bar{\zeta}'(y + y_0)}{\zeta(x + x_0) + \bar{\zeta}(y + y_0)} \right\}, \quad \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \frac{\kappa}{4\pi} \left\{ \frac{\zeta'(x - x_0)}{\zeta(x - x_0) + \zeta(y - y_0)} - \frac{\zeta'(x + x_0)}{\zeta(x + x_0) + \zeta(y - y_0)} - \frac{\zeta'(x - x_0)}{\zeta(x - x_0) + \bar{\zeta}(y + y_0)} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\zeta'(x + x_0)}{\zeta(x + x_0) + \bar{\zeta}(y + y_0)} \right\} \quad \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

これより直ちに

$$x=0 \text{ 及び } x=\omega_1=B \quad \text{のとき } u=0,$$

$$y=0 \text{ 及び } y=\frac{\omega_3}{i}=A \quad \text{のとき } v=0$$

なる境界條件が満足されてゐることがわかる。以上の結果を現在の問題に適用して、 $AB$  上の線素  $dy_0$  の  $\text{rot } \vec{i}$  に起因する電流の  $x$  及び  $y$  成分は次のやうになる。

4) Halphen に従つて  $\zeta(v) = \zeta\left(v/\frac{\omega_3}{i}, i\omega_1\right)$  である。

$$i_x = -\frac{B_0 v \sigma_0}{4\pi} \left\{ \frac{\phi'(y-y_0)}{\phi(x-x_0)+\phi(y-y_0)} - \frac{\phi'(y-y_0)}{\phi(x+x_0)+\phi(y-y_0)} - \frac{\phi'(y+y_0)}{\phi(x-x_0)+\phi(y+y_0)} + \frac{\phi'(y+y_0)}{\phi(x+x_0)+\phi(y+y_0)} \right\} dy_0, \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$i_y = \frac{B_0 v \sigma_0}{4\pi} \left\{ \frac{\phi'(x-x_0)}{\phi(x-x_0)+\phi(y-y_0)} - \frac{\phi'(x+x_0)}{\phi(x+x_0)+\phi(y-y_0)} - \frac{\phi'(x-x_0)}{\phi(x-x_0)+\phi(y+y_0)} + \frac{\phi'(x+x_0)}{\phi(x+x_0)+\phi(y+y_0)} \right\} dy_0 \quad \dots\dots\dots(12)$$

電流が磁場に於て流れる時導體に働く力は、

$$\vec{f} = [\vec{i} \vec{B}]$$

で與へられるから、現在の場合金屬板の體積要素  $D dx dy$  (但し  $D$  は金屬板の厚さ) に働く反抗力は

$$df' = i_y B_0 D dx dy \\ = \frac{B_0^2 v \sigma_0 D}{4\pi} \left\{ \frac{\phi'(x-x_0)}{\phi(x-x_0)+\phi(y-y_0)} - \frac{\phi'(x+x_0)}{\phi(x+x_0)+\phi(y-y_0)} - \frac{\phi'(x-x_0)}{\phi(x-x_0)+\phi(y+y_0)} + \frac{\phi'(x+x_0)}{\phi(x+x_0)+\phi(y+y_0)} \right\} dy_0 dx dy \quad \dots\dots\dots(13)$$

從て  $AB$  に於ける磁束變化の爲に生ずる反抗力は

$$f' = \frac{B_0^2 v \sigma_0 D}{4\pi} \int_{y_c - \frac{a}{2}}^{y_c + \frac{a}{2}} dy_0 \int_{y_c - \frac{a}{2}}^{y_c + \frac{a}{2}} dy \int_{x_c - \frac{\beta}{2}}^{x_c + \frac{\beta}{2}} \left\{ \frac{\phi'(x-x_0)}{\phi(x-x_0)+\phi(y-y_0)} - \frac{\phi'(x+x_0)}{\phi(x+x_0)+\phi(y-y_0)} - \frac{\phi'(x-x_0)}{\phi(x-x_0)+\phi(y+y_0)} + \frac{\phi'(x+x_0)}{\phi(x+x_0)+\phi(y+y_0)} \right\} dx \quad \dots\dots\dots(14)$$

但し  $\overline{AB} = a$ ,  $\overline{BC} = \beta$  とし,  $(x_c, y_c)$  は  $ABCD$  の中心の位置である. 今特に金屬板の中心と磁極の中心とが一致してゐる場合即ち  $x_c = \frac{B}{2} = \frac{\omega_1}{2}$ ,  $y_c = \frac{A}{2} = \frac{\omega_2}{2}$  の時を考へると,  $CD$  に於ける磁束變化に依る反抗力は對稱の理により  $AB$  のそれに等しいから, 金屬板全體の反抗力  $f$  は  $2f'$  に等しい. 故に

$$f = \frac{C \phi^2 v \sigma_0 D}{8} \quad \dots\dots\dots(15)$$

茲に



$$C = \frac{1}{2\pi a\beta} \int_{\frac{\omega_3}{2i} - \frac{a}{2}}^{\frac{\omega_3}{2i} + \frac{a}{2}} dy_0 \int_{\frac{\omega_3}{2i} - \frac{a}{2}}^{\frac{\omega_3}{2i} + \frac{a}{2}} dy \int_{\frac{\omega_1}{2} - \frac{\beta}{2}}^{\frac{\omega_1}{2} + \frac{\beta}{2}} \left\{ \frac{\phi'(x-x_0)}{\phi(x-x_0) + \frac{1}{2}(y-y_0)} - \frac{\phi'(x+x_0)}{\phi(x+x_0) + \frac{1}{2}(y-y_0)} - \frac{\phi'(x-x_0)}{(x-x_0) + \frac{1}{2}(y+y_0)} + \frac{\phi'(x+x_0)}{\phi(x+x_0) + \frac{1}{2}(y+y_0)} \right\} dx \quad \dots\dots\dots(16)$$

茲に

$$x_0 = \frac{\omega_1}{2} - \frac{\beta}{2}$$

但し  $\phi$  は全磁束,  $S$  は磁場の面積で  $a\beta$  に等しい. (15) 式から明かなるやうに, 反抗力は金属板の移動速度, 全磁束の自乗, 金属板の厚さ, 及び金属板の比電気伝導度に比例し, 磁場の面積に逆比例することがわかる.

### § 3. $C$ の計算 (積分の簡易化)

金属板の面積が無限に大きい場合には萩原教授<sup>5)</sup>によれば  $C$  の値は次式により與へられる.

$$C = \frac{1}{\pi} \left\{ 2 \tan^{-1} \frac{a}{\beta} + \frac{1}{2} \frac{a}{\beta} \log_e \left( 1 + \frac{\beta^2}{a^2} \right) - \frac{1}{2} \frac{\beta}{a} \log_e \left( 1 + \frac{a^2}{\beta^2} \right) \right\}. \quad \dots\dots\dots(17)$$

現在の矩形金属板の場合は, 楕圓函数を含む複雑なる (16) 式によつて  $C$  の値を求めることとなる. (16) 式の三重積分のうち  $x$  に関する積分は

$$\int \frac{f'(x)}{f(x)} dx$$

なる形であるから簡単に積分を實行することが出来る. 其の結果は

$$C = \lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{1}{2\pi a\beta} \int_{\frac{\omega_3}{2i} - \frac{a}{2}}^{\frac{\omega_3}{2i} + \frac{a}{2}} dy_0 \int_{\frac{\omega_1}{2} - \frac{\beta}{2}}^{\frac{\omega_1}{2} + \frac{\beta}{2}} \log \frac{\{\phi(\beta) + \frac{1}{2}(y-y_0)\} \{\phi(\epsilon) + \frac{1}{2}(y+y_0)\} \{\phi(\omega_1) + \frac{1}{2}(y+y_0)\} \{\phi(\omega_1 - \beta) + \frac{1}{2}(y-y_0)\}}{\{\phi(\beta) + \frac{1}{2}(y+y_0)\} \{\phi(\epsilon) + \frac{1}{2}(y-y_0)\} \{\phi(\omega_1) + \frac{1}{2}(y-y_0)\} \{\phi(\omega_1 - \beta) + \frac{1}{2}(y+y_0)\}} dy \quad \dots\dots\dots(18)$$

或は  $\phi$  函数に関する加法定理により  $\sigma$  函数を用ひて表はすと integrand は次の様になる.

$$\log \left[ \frac{[\sigma(iy+iy_0)]^2 \sigma(\beta - iy + iy_0) \sigma(\beta + iy - iy_0) \sigma(\omega_1 - iy - iy_0) \sigma(\omega_1 + iy + iy_0)}{[\sigma(iy - iy_0)]^2 \sigma(\beta - iy - iy_0) \sigma(\beta + iy + iy_0) \sigma(\omega_1 - iy + iy_0) \sigma(\omega_1 + iy - iy_0)} \cdot \frac{\sigma(\omega_1 - \beta - iy + iy_0) \sigma(\omega_1 - \beta + iy - iy_0)}{\sigma(\omega_1 - \beta - iy - iy_0) \sigma(\omega_1 - \beta + iy + iy_0)} \right]. \quad \dots\dots\dots(19)$$

更に  $\sigma(u) = 2\omega_1 \frac{\vartheta_1(v)}{\vartheta_1'(0)} e^{2v_1\omega_1 v^2}$ ,  $v = \frac{u}{2\omega_1}$  なる関係を用ひて integrand を  $\vartheta$  函数で表はし更に  $\vartheta_1\left(v + \frac{1}{2}\right) = \vartheta_2(v)$ ,  $\vartheta_2(-v) = \vartheta_2(v)$  なることを考慮すれば integrand は

$$\log \frac{\left[ \vartheta_1\left(i\frac{y+y_0}{2\omega_1}\right) \right]^2 \left[ \vartheta_2\left(i\frac{y+y_0}{2\omega_1}\right) \right]^2 \vartheta_1\left(\frac{\beta-iy+iy_0}{2\omega_1}\right) \vartheta_2\left(\frac{\beta-iy+iy_0}{2\omega_1}\right)}{\left[ \vartheta_1\left(i\frac{y-y_0}{2\omega_1}\right) \right]^2 \left[ \vartheta_2\left(i\frac{y-y_0}{2\omega_1}\right) \right]^2 \vartheta_1\left(\frac{\beta+iy+iy_0}{2\omega_1}\right) \vartheta_2\left(\frac{\beta+iy+iy_0}{2\omega_1}\right)} \cdot \frac{\vartheta_1\left(\frac{\beta+iy-iy_0}{2\omega_1}\right) \vartheta_2\left(\frac{\beta+iy-iy_0}{2\omega_1}\right)}{\vartheta_1\left(\frac{\beta-iy-iy_0}{2\omega_1}\right) \vartheta_2\left(\frac{\beta-iy-iy_0}{2\omega_1}\right)} \quad \dots\dots\dots (20)$$

と變形されるが、 $\vartheta$  函数に關する Landen の變換

$$\frac{\vartheta_1(v/\tau) \vartheta_2(v/\tau)}{\vartheta_1(2v/2\tau)} = \frac{\vartheta_2(o/\tau) \vartheta_4(o/\tau)}{\vartheta_4(o/\tau)}$$

によつて、(20) は次の様に書ける。

$$\log \frac{\left[ \vartheta_1\left(i\frac{y+y_0}{\omega_1}\right) \right]^2 \vartheta_1\left(\frac{\beta-iy+iy_0}{\omega_1}\right) \vartheta_1\left(\frac{\beta+iy-iy_0}{\omega_1}\right)}{\left[ \vartheta_1\left(i\frac{y-y_0}{\omega_1}\right) \right]^2 \vartheta_1\left(\frac{\beta+iy+iy_0}{\omega_1}\right) \vartheta_1\left(\frac{\beta-iy-iy_0}{\omega_1}\right)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

但し (1) 式に於ける  $\vartheta$  函数の副變數  $\tau$  は

$$\tau = \frac{2\omega_3}{\omega_1} \quad \dots\dots\dots (22)$$

である。以下、取扱ふ  $\vartheta$  函数はみなこれに従ふものとする。更に加法公式

$$\vartheta_1(v+w) \vartheta_1(v-w) [\vartheta_4(o)]^2 = [\vartheta_1(v) \vartheta_4(w)]^2 - [\vartheta_4(v) \vartheta_1(w)]^2$$

によつて (21) 式は

$$\log \frac{\left[ \vartheta_1\left(i\frac{y+y_0}{\omega_1}\right) \right]^2 \left\{ \left[ \vartheta_1\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right) \vartheta_4\left(i\frac{y-y_0}{\omega_1}\right) \right]^2 - \left[ \vartheta_4\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right) \vartheta_1\left(i\frac{y-y_0}{\omega_1}\right) \right]^2 \right\}}{\left[ \vartheta_1\left(i\frac{y-y_0}{\omega_1}\right) \right]^2 \left\{ \left[ \vartheta_1\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right) \vartheta_4\left(i\frac{y+y_0}{\omega_1}\right) \right]^2 - \left[ \vartheta_4\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right) \vartheta_1\left(i\frac{y+y_0}{\omega_1}\right) \right]^2 \right\}}$$

或は

$$\log \frac{\left[ \frac{\vartheta_4\left(i\frac{y-y_0}{\omega_1}\right)}{\vartheta_1\left(i\frac{y-y_0}{\omega_1}\right)} \right]^2 - \left[ \frac{\vartheta_4\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right)}{\vartheta_1\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right)} \right]^2}{\left[ \frac{\vartheta_4\left(i\frac{y+y_0}{\omega_1}\right)}{\vartheta_1\left(i\frac{y+y_0}{\omega_1}\right)} \right]^2 - \left[ \frac{\vartheta_4\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right)}{\vartheta_1\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right)} \right]^2} \quad \dots\dots\dots (23)$$



となる、即ち  $C$  は次の二重積分で表はすことが出来る。

$$C = \frac{1}{2\pi a\beta} \iint_T \log \frac{\Psi\left(i \frac{y-y_0}{\omega_1}\right) - K}{\Psi\left(i \frac{y+y_0}{\omega_1}\right) - K} dy dy_0 \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$\text{但し } \Psi(v) = \left[ \frac{\vartheta_4(v)}{\vartheta_1(v)} \right]^2, \quad K = \left[ \frac{\vartheta_4\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right)}{\vartheta_1\left(\frac{\beta}{\omega_1}\right)} \right]^2$$

積分領域  $T$  は第4圖の如き正方形である。

今變數を

$$\xi = y + y_0 - \frac{\omega_3}{i}, \quad \eta = y - y_0 \quad \dots\dots\dots(25)$$

に變換すれば、

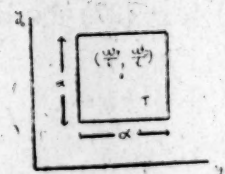
$$\Psi\left(i \frac{y-y_0}{\omega_1}\right) = \Psi\left(\frac{i\eta}{\omega_1}\right)$$

$$\Psi\left(i \frac{y+y_0}{\omega_1}\right) = \Psi\left(\frac{i\xi}{\omega_1} + \frac{\omega_3}{\omega_1}\right) = \Psi\left(\frac{i\xi}{\omega_1} + \frac{\tau}{2}\right)$$

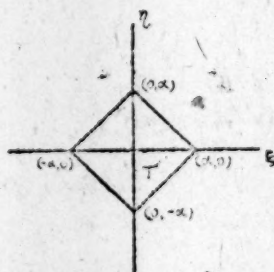
$$= \left[ \frac{\vartheta_4\left(\frac{i\xi}{\omega_1} + \frac{\tau}{2}\right)}{\vartheta_1\left(\frac{i\xi}{\omega_1} + \frac{\tau}{2}\right)} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{\vartheta_1\left(\frac{i\xi}{\omega_1}\right)}{\vartheta_4\left(\frac{i\xi}{\omega_1}\right)} \right]^2$$

$$= 1/\Psi\left(\frac{i\xi}{\omega_1}\right)$$



第 4 圖



第 5 圖

であるから、

$$C = \frac{1}{2\pi a\beta} \iint_{T'} \log \frac{\Psi\left(\frac{i\eta}{\omega_1}\right) - K}{1/\Psi\left(\frac{i\xi}{\omega_1}\right) - K} d\xi d\eta \quad \dots\dots\dots(26)$$

積分領域は等5圖の如き正方形となる。(26)式に於て對數記號内の分子、分母は夫々  $\eta$  及び  $\xi$  のみを含むことに注意して、二重積分の順序を適當にとつて積分を實行すれば、(26)式は結局次のやうに書ける。

$$C = \frac{1}{\pi a \beta} \int_0^a (a-t) \log \frac{\Psi\left(i \frac{t}{\omega_1}\right) - K}{1/\Psi\left(i \frac{t}{\omega_1}\right) - K} dt$$

或は

$$C = \frac{\omega_1^2}{\pi a \beta} \int_0^{\frac{\omega_1}{a}} \left( \frac{a}{\omega_1} - t \right) \log \frac{\Psi(it) - K}{1/\Psi(it) - K} dt \quad \dots\dots\dots (27)$$

#### § 4. $C$ の計算 (数値計算)

$C$  は (27) 式に依つて與へられるが,  $t=0$  の附近を除いて数値積分を實行することによつて  $C$  の値を数値的に求めることが出来る.  $t=0$  の附近に於ては (27) 式の被積分函数は近似的に次式で表はすことが出来る.

$$-\left(\frac{a}{\omega_1} - t\right) \log \frac{K}{a} + \left(\frac{a}{\omega_1} - t\right) \left( \frac{K}{a} - \frac{1}{aK} \right) t^2 - 2 \left( \frac{a}{\omega_1} - t \right) \log t \quad \dots (28)$$

但し

$$\alpha = \frac{[\vartheta_1(\vartheta)]^2}{4q^{1/2}\pi^2} \quad \text{及び} \quad q = e^{\pi\tau i}$$

従つて 0 から  $\delta$  ( $\delta \ll 1$ )迄積分した値は

$$\delta \left\{ \frac{a}{\omega_1} \left( 2 - \log \frac{K}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( 1 - \log \frac{K}{a} \right) \delta + \frac{1}{3} \frac{a}{\omega_1} \left( \frac{K}{a} - \frac{1}{aK} \right) \right. \\ \left. + \left( \delta - 2 \frac{a}{\omega_1} \right) \log \delta \right\} \quad \dots\dots\dots (29)$$

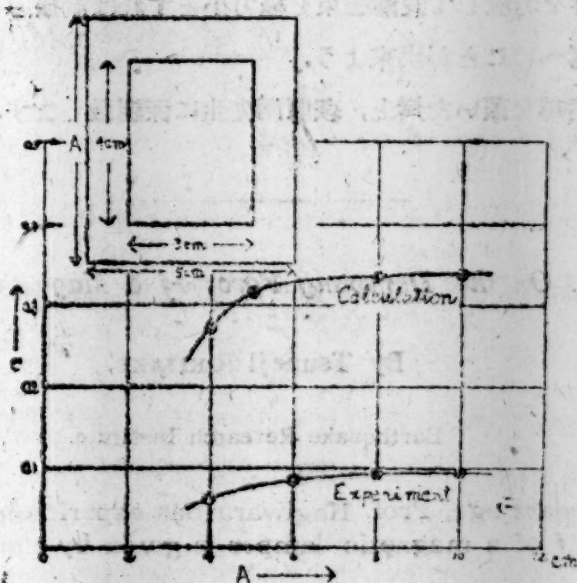
に依つて與へられる. 従つて  $t$  の變域  $0 \sim \frac{a}{\omega_1}$  を  $0 \sim \delta$ ,  $\delta \sim \frac{a}{\omega_1}$  にわけて, 前の場合は (29) 式を使用し, 後の場合は Simpson の方法によつて数値積分を行つた. 計算の誤差は 2~3 % 程度である.  $a, \beta$  及び  $A, B$  の二三の場合に就て計算を實施せる結果を第6圖, 第7圖に示す. 比較の爲萩原教授によつて得られた實驗値を併せて示してある.

#### § 5. 實驗 と の 比 較

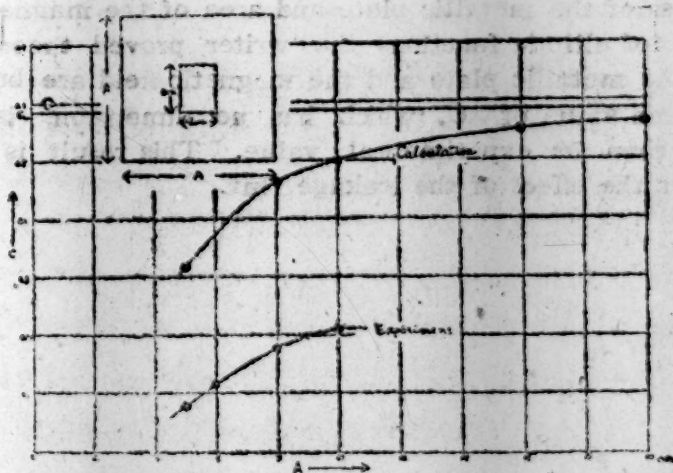
第6圖に見る如く, 實驗値も計算値も  $A$  が大になるとともに或る漸近値に近づくが計算値の方が約三倍だけ大きい.

また第7圖は金屬板が正方形であるとした場合であつて, 邊の長さが大きくなるに従つて計算値は (17) 式より得られる板の面積が無限に大きい場合の極限值  $C_\infty$  に





第 6 圖



第 7 圖

漸近的に近づく、一方實驗値は上記の値の約三分の一程度の漸近値をもつてゐることがわかる。

本計算の出發點に於て、簡單の爲に磁束密度は磁極の間の部分でのみ一定値を有し他の部分では全く零としたのであるが、實際の磁束密度の分布は上記の如き不連続なものではなく磁極をはづれるに従つて連続的に小となるべきものと考へられるから、 $C$ の値として計算値の方が實驗値よりも大きくなることは當然豫想されるところであるが、計算値の方が2, 3倍も大であることは注目すべき結果で、磁極の形狀、兩極

間の距離等の條件を考慮して洩漏磁束を極力小とすれば制振力を増大せしめる餘地は充分あるものと考へることが出來よう。

終りに種々御指導を頂いた岸上、萩原兩先生に深謝致します。

### 3. On the Damping Force of a Magnetic Damper .

By Tsuneji RIKITAKE,

Earthquake Research Institute.

About ten years ago, Prof. Hagiwara has experimentally shown that the damping force  $f$  of a magnetic damper is given by the next expression

$$f = \frac{C\phi^2\sigma vD}{S}$$

where  $\phi$ ,  $\sigma$ ,  $v$ ,  $D$  and  $S$  are total flux, specific conductivity, velocity, thickness of the metallic plate and area of the magnetic field respectively. By use of elliptic functions the writer proved theoretically this relation when the metallic plate and the magnetic field are both rectangular. The calculated value of  $C$ , which has no dimension, is about three times larger than its experimental value. This result is reasonable when we consider the effect of the leakage flux.



## 4 地震動の尾部について (其の3)

地震研究所 表 俊 一 郎

(昭和18年6月15日發表——昭和21年1月12日受理)

### 第4章 震央距離極めて大なる地震の地震動の尾部

#### § 14. 緒 言

第1章<sup>1)</sup>及び第3章<sup>2)</sup>に於ては日本内地及び南方諸地域に發生した地震による地震動の尾部の振動週期について研究を行つた結果が記述せられた。これらの地震の震央距離は近いものは40 km 未満のものより最も遠いものは10,000 km 程度のものにまで及んだのであつたが、更に大なる震央距離を有する地震、即ち、震央距離10,000 km を超える地震による地震動の尾部を研究した結果をこの第4章に於て述べることにする。之等震央距離極めて大なる地震の震央は南米及び北米大陸の太平洋沿岸地帯に位置してをり地震波は太平洋底を通過して觀測點へ到達したものである。

第4章に於て之等遠地地震の尾部の研究を行ふに際しても、前章に於て行はれたと同様研究は専ら地震動の振動週期の探求に限られ、而も研究の基礎となつた地震記象は之亦前章の場合と同様東京本郷の東京帝國大學内に設置せられた長週期の水平振子型の地震計2臺により東西及び南北2成分の記録を行つたものを使用してゐる。上記地震計の常数は第1章第1表にあげた如くであつて自己振動週期は略々60秒に調節保持せられてゐるので、振動週期略々15秒乃至25秒位である尾部の振動週期を研究するに當つては、地震計の自己振動の週期は地動の週期の2倍以上となるので地震記象の上に記録せられてゐる曲線は略々實際の地動に近いものをあらはしてゐると假定して議論を進めても大なる過誤を犯すものではないと考へられる。

次に地震記象の上に記録せられた地震動につき論じようとするとき注意を拂ふべきは脈動の影響である。實際本郷地域に於ては脈動の發現は珍らしくなく<sup>3), 4), 5), 6)</sup>ここに筆者が使用した自己週期60秒の地震計も倍率が東西成分20倍、南北成分15倍

1) 表俊一郎 地震研究所彙報 21 (1943), 458.

2) 表俊一郎 地震研究所彙報 22 (1944), 140.

3) F. OMORI, Bull. Earthq. Invest. Commit., 3 (1909), 1.

4) K. WADATI, Geophys. Mag. 1 (1926), 35.

5) T. MATUZAWA, Journ. Fac. Sci. Tokyo, [ii] 2 (1920), 205.

6) 豊坂清信・本間正作 中央氣象臺氣象報告 6 (1943), 1.

であるので記象の上で 1~2 耗の振幅をもつ脈動が発生することはしばしばである。従つて、それら脈動の週期は多くは 10 秒以下であるとはいへ振幅が多きくなつてくれば尾部の振動週期の探求の場合にいちぢるしい妨害をなすべきことは既に第 3 章に述べたごとく當然考慮にいれなくてはならないので、その折に注意したと同様充分な注意を拂つて脈動による影響の介入することのない記象について研究が行はれたことはいふまでもない。

かくの如き条件の下に於て第 4 章に調べられた地震は第 I 表に挙げた 13 ケの地震

第 I 表

| Earthq.<br>No. | Time of<br>occurrence |        | Epicenter |        |                                | Duration<br>of the<br>total oscil-<br>lation |
|----------------|-----------------------|--------|-----------|--------|--------------------------------|----------------------------------------------|
|                |                       |        | $\lambda$ | $\phi$ | Region                         |                                              |
| 42             | 1915                  | VII 31 | 164° E    | 50° N  | Alutian                        | min<br>70                                    |
| 43             | 1937                  | VII 23 | 99.°6W    | 13.°2N | Acapulco Chilpancingo (Mexico) | 160                                          |
| 44             | 1902                  | IX 23  | 77° E     | 60° S  | Antarctic                      | 70                                           |
| 45             | 1915                  | IX 7   | 89.°2E    | 14.°2N | Gua'emara                      | 130                                          |
| 46             | 1916                  | X 3    | 74° W     | 14° S  | Peru                           | 100                                          |
| 47             | 1911                  | IX 15  | 71.°8W    | 19.°2S | Iquique (Chili)                | 100                                          |
| 48             | 1918                  | XII 4  | 71.°8W    | 19.°2S | Capiapo (Chili)                | 60                                           |
| 49             | 1937                  | XII 23 | 70.°6W    | 26.°3S | Mexico                         | 160                                          |
| 50             | 1937                  | VII 19 | 77.°5W    | 1.°5N  | Ecuador                        | 180                                          |
| 51             | 1937                  | V 21   | 79.°9W    | 6.°8S  | Peru                           | 190                                          |
| 52             | 1936                  | VII 13 | 70.°2W    | 23.°0S | Chili                          | 140                                          |
| 53             | 1938                  | I 24   | 37° W     | 58° S  | South Georgia                  | 160                                          |

第 1 圖



●; Epicenter of the earthquake studied in Chapter 4. ○; Epicenter of the earthquake studied in Chapters 1~3.  
(The Figure beside each dot is the earthquake number as listed in Table I.)

である。筆者が之等震央距離の極めて大なる地震の調べを行ふにあたり、河角博士の御厚意により博士が前に地震動の週期に就きしらべられた際に、週期の讀取を行はれた材料を貸與せられたので、それらの材料に基き筆者が解析を行つた結果も同時にここに報告することとした。之等の地震は No. 42~48 にいたる 7 ケの地震であり、この中には No. 42 の如く震央距離僅かに 3~4000 km にすぎないものもあるが、後の震央分布圖に見ら

れるごとくアメリカ大陸の太平洋岸に沿ふ地震であるが故に便宜上、ここに列記する



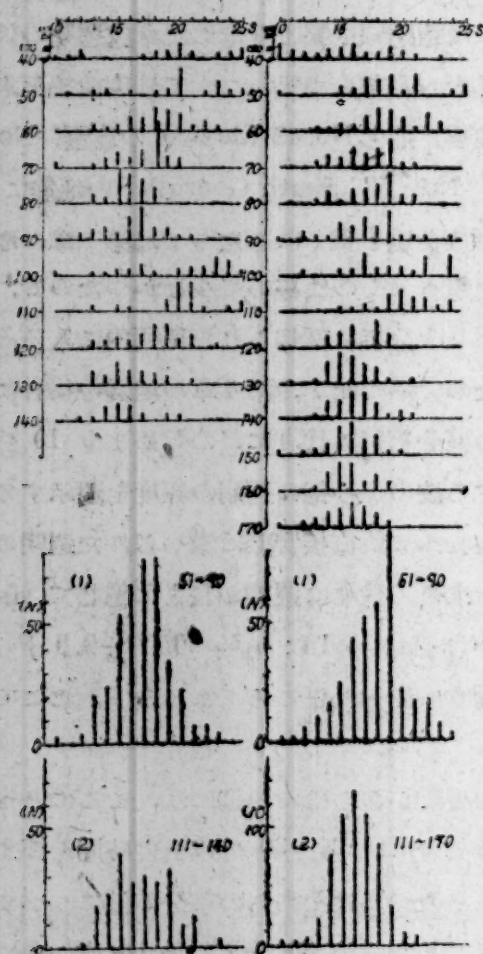
こととした。第Ⅰ表にあげた地震の震央は第1圖に示してある。圖に見られる如く之等の地震は南及び北アメリカ大陸の太平洋岸に沿ふ地域に發生したものであることが見られる。

§ 15. 週期頻度圖. 第1表にあげた 13 ケの地震による地震動の尾部の研究を行ふにあたり先づ始めに、第 1, 3 章の場合と同様の方法により、夫々の地震記象に基き地震動の全域にわたり週期の讀取が行はれた。それら得られた値は第Ⅱ表に示されてゐる。これらの得られた週期にもとづいて解析を行ふにあたり、第1に前章に於て行つたと同様、週期頻度曲線を求めて考察を行ふことにした。併し既に述べた如く第Ⅰ表の地震の中には震央距離 10,000 km 以下のものもあり、亦後の圖にも見られる如く、頻度曲線からは充分正確に尾部の卓越週期をえらび出す事は必ずしも容易でなく、ことに總振動時間の短いものについては週期頻度圖より求めた卓越週期の信用度は大であるといひ難いのであるから、第Ⅰ表の全部の地震について頻度曲線を求める代りに總振動時間特に長大である 4 ケの地震、即ち No. 49 Mexico の地震、No. 51 Peru の地震、No. 52 Chili の地震及び No. 53 South Georgia の地震についてのみ週期頻度圖を求めることとした。頻度曲線を畫くにあたつては第1章の地震では總振動時間の大きいものでも數 10 分を超えるものは極めて少なかつたので、讀取られた週期を 1 秒毎に區切り、 $P$  の始めより 1 分毎に區切られた區間内に入るそれら 1 秒毎の週期の頻度を數へて考察を行つたのであつたが、第4章の地震の場合には總振動時間も極めて大となつたので 1 分毎の區分を行ふ代りに  $P$  の始めより 10 分毎に區分してその區分せられた區間内に存在する波の 1 秒毎の週期の頻度を圖示することとした。併し之等の週期頻度圖を畫くにあたつては直接實際に數へられた週期の個數より得られた數に基き頻度  $n_p$  による圖を求める代りに週期の長さに應じて  $n_p$  に補正を加へて得た百分率頻度  $N_p$  {茲に  $N_p = (n_p/n_p') \times 10$ ;  $n_p' = 60/(P+0.5)$ }<sup>7)</sup> を用ひて頻度圖を畫くのが適當であることは前章に述べたところであるので、ここでも  $N_p$  による頻度圖を示すこととした。

$P$  の初動が記録せられてより大振幅をもつ主要動があらはれる迄には、ここにのべんとするとき震央距離の極めて大なる地震の場合には 20~30 分以上の時間を要するのであるが、尾部の振動週期の研究を行ふにあつてはそれらの部分の波については考慮を拂ふ必要がまつたくないので  $P$  のはじめから第 30 分迄の波は考慮の外に置くこととし、第 30 分以後の波の週期について調べることにした。而して、尾部の振動週期を概観するに、これら震央距離大なる地震に於ては、第Ⅱ表に見られること

7) 前掲 1) P. 462

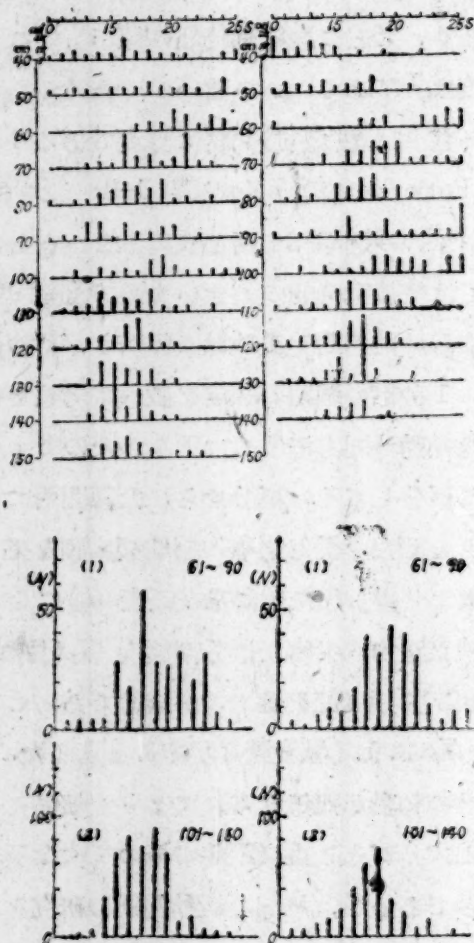
く 10 秒より短い週期の波は極めて稀れであり、又週期の長い波としては Love 波及び Rayleigh 波と思はれる大振幅大週期の表面波は尾部の振動とは區別し別個に考慮することとして除外するとすれば、尾部の振動による波の中で週期の長い波も 25 秒を超えるものは亦極めて稀れである。従つて週期頻度圖を畫くにあたつては 10 秒乃至 25 秒の週期をもつ波についての頻度圖を求めることにして此の範圍を外れて短い波も長いものも除外することとした。併しその結果結論に影響を及ぼすべき現象が看過せられる恐れのないことは第Ⅱ表を一見して明らかである。求められた週期頻度圖は第 2~5 圖に示されてゐる。之等の圖に於て實際には第 30~40 分及第 90~110 分の間は波の数が極めて少なく波が存在しないやうに見える部分があるが、第Ⅱ表に



第 2 圖

Frequency distribution of coda periods of earthquake No. 51.

- (1); 1st coda waves  
(2); 2nd coda waves



第 3 圖

Frequency distribution of coda periods of earthquake No. 52.

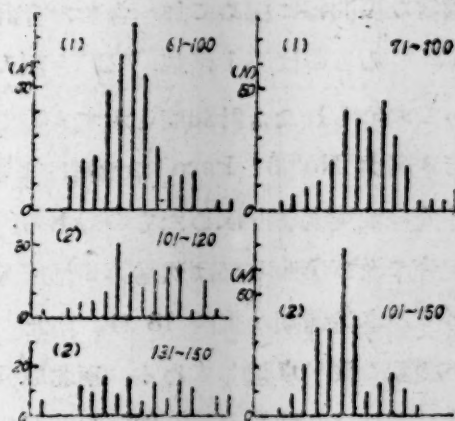
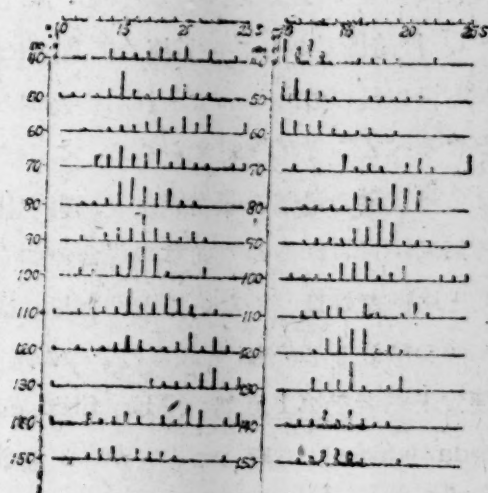
- (1); 1st coda waves  
(2); 2nd coda waves



對比すれば之等の部分にては 25 秒以上の波が多数存在するが故に頻度圖にはその結果が隠されてゐる事が判明する。之は丁度この邊りで地球の劣弧及び優弧に沿つて傳播してきた夫々の表面波が發現してゐる部分であることが見られ、尾部の振動週期を求めるに當つては考慮する必要のない部分である。従つて、後に各分の百分率頻度  $N_p$  を全域にわたつて合計して卓越週期を求めるに際しては當然除外しなくてはならない部分である。従つて、此の事を明らかにするために第Ⅱ表を参照して表面波が優勢である部分の頻度  $N_p$  は圖に於て細い線で記入せられ、今調べを行はんとしてゐる眞に尾部の振動と呼ぼるべき部分の頻度は太い線で記入を行ひ一見して明確に區別することが出来るやうにした。

却説之等の頻度圖より卓越週期を求めんとするのであるが、これらの圖に太線で示されてゐる頻度について概観するに、いづれの圖についても共通な傾向のあることが氣付かれる。即ち始め第 40 分~50 分迄位は表面波による大週期の波が卓越してゐるが、それら大週期の波が通

過し終つた第 55 分以後は 18~20 秒位の波が優勢に發現する區間が現れこの状態が第 100 分の始め頃迄持續し、この部分の卓越週期の値は概略 18~20 秒の値を持つべきことが推定せられる。第 100 分頃より 10 分間乃至 20 分間のあいだは再び週期の長い波が現れてをり之は記象の上に於ても大振幅をもつ波であつて、第 3 章に調べられた所によれば地球の優弧に沿つて傳播してきた表面波によるものであることが判明してゐる。之等の表面波による大週期大振幅の波が通過し終つた第 120 分頃を確然とした界ひとして再びそれら表面波に比べればはるかに短い週期をもつ波が優勢にあ



第 4 圖 (左)  
Frequency distributions of coda  
periods of earthquake No. 49  
(1); 1st coda waves  
(2); 2nd coda waves

第 5 圖 (右)  
Frequency distributions of coda  
periods of earthquake No. 53  
(1); 1st coda waves.  
(2); 2nd coda waves.

らはれてきてゐることが見られる。而してその週期はほぼ一樣であつていづれも 15~17 秒前後であることが極めて顯著にあらはれてゐるのが見られる。従つて之等第 100 分以後の波についてそれらの區域の卓越週期を求めればその値は略々 16 秒前後となるべきことが推定せられる。このやうにして、之等震央距離極めて大なる地震による地震動の尾部の頻度圖より考察すれば尾部の卓越週期が、時間の経過につれて變る傾向が見られるので前章の場合の如く尾部の全域にわたり波の頻度を一括合計することは甚だ好ましくないこととなる。従つて優弧表面波發現より前の部分と、それより後の部分とに分ち、それらの 2 つの部分につき別々に頻度合計を求めることとした。便宜上前者を第 1 尾部 (The first coda waves) 後者を第 2 尾部 (The second coda waves) と呼ぶこととする。前章迄に普通に尾部と呼んできた部分はここにいふ第 1 尾部に相當する部分である。之等 10 分毎に區切られた頻度圖の下部にそれらを適當な區間毎に纏めて加へ合せた合計頻度圖が 2 個宛畫かれてゐるが (1) と記入せられてゐるのは第 1 尾部、(2) と記入せられてゐるのは第 2 尾部に相當する部分について求められた合計頻度を示すものである。

第 2 圖は No. 51 Peru の地震による週期頻度圖であり、A は東西成分、B は南北成分の地震動より求めたものである。總振動時間は A にては 140 分、B にては 170 分に及び第 1 尾部は勿論第 2 尾部も良く發達してゐるのが明らかに見られる。第 1 尾部の卓越週期は東西 18 秒、南北 9 秒であり、之に對して第 2 尾部では之より短い週期の波が卓越してゐる。南北成分では卓越週期明らかに 16 秒であるが、東西成分にては 14 秒乃至 19 秒の間の波の頻度ほぼ同一で卓越週期を明確に定め得ないが略々 16~17 秒の週期を卓越週期と定めても大過はないやうに見られるであらう。No. 52 Chili の地震も東西、南北兩成分について良好な記録を與へ、それらの頻度は第 3 圖に示された如きものとなる。第 1 尾部の頻度圖にては東西成分第 61~70 分に 16 秒の波が著るしく發達したため 16 秒の週期が顯著に卓越してゐるのが見られるけれども、この部分をのぞいて頻度圖の平滑化を行へば 18 乃至 19 秒の波が卓越してゐることが認められ、南北成分の頻度圖からは 18 秒の波が卓越してゐることが明らかに認められる。第 2 尾部の卓越週期は、東西成分にては 16 秒、南北成分のものからは 17 秒の週期の波が卓越してゐるのが認められる。No. 49 Mexico の地震、No. 53 South Georgia の地震については前者は東西成分、後者は南北成分の頻度圖が得られ夫々第 4 及び 5 圖に圖示せられてゐる。Mexico の地震にては、第 1 尾部にて 17 秒の波卓越するに對し、第 2 尾部に相當すべき第 140~150 分の頻度曲線は明瞭な卓越週期を示さない。之に反して第 100~120 分の間で合計頻度圖をもとめて示せば同



圖に 2' と書いて示したものの如くなり、むしろこの第 110~120 分の間の合計頻度曲線に於て 16 秒の波が卓越してゐるのが見られる。Mexico の地震の震央距離は 13,000 km である。優弧に沿ふ表面波が現れ始めるのは第 110 分頃であるので第 100~120 分の間の波を第 2 部尾と考ふることは少し早すぎるやうであるが、第 140~150 分では既に振幅が極めて小さくなつてゐて週期のよみとりも困難となつたため他の原因による誤差が大きく影響してゐるのではないかと思はれる。従つて Mexico の地震の第 2 尾部の卓越週期は 2' の頻度圖即ち第 100~120 分の間の合計より 16 秒と考へ得る。Scuth Georgia の地震第 5 圖にては第 1 尾部に屬する波の週期は 16 秒乃至 20 秒のものが大部分であり卓越週期は 19 秒であることが見られる。之に反し第 2 尾部の卓越週期は確然と 16 秒であることが認められる。

以上の如くにして求められた卓越週期の値を一括して示せば下表の如くなる。

第 III 表  
Period of maximum frequency

| Earthq.<br>No. | Epicent-<br>ral dist-<br>ance | Compo-<br>nent | 1 <sup>st</sup> coda waves        |           | 2 <sup>nd</sup> coda waves        |           |
|----------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
|                |                               |                | Period of<br>maximum<br>frequency | portion   | Period of<br>maximum<br>frequency | portion   |
|                | km                            |                | sec.                              | min. min. | sec.                              | min. min. |
| 49             | 11,600                        | E-W            | 17                                | 61~100    | 16                                | 101~120   |
| 51             | 14,900                        | E-W            | 18                                | 51~90     | 16                                | 111~140   |
| "              | "                             | N-S            | 19                                | 51~90     | 16                                | 111~140   |
| 52             | 16,800                        | E-W            | 16~20                             | 61~90     | Ca 16                             | 101~150   |
| "              | "                             | N-S            | 18                                | 61~90     | 17                                | 101~140   |
| 53             | 17,500                        | N-S            | 18~19                             | 71~100    | 16                                | 101~140   |

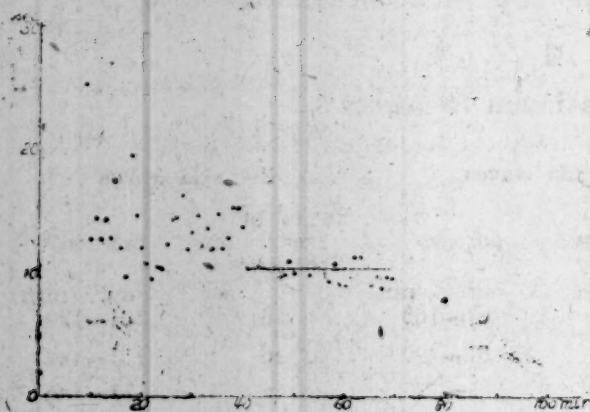
以上週期頻度圖より求められた結果を一見して最も顯著なことは第 1 尾部に於ては明確な卓越週期を示さずむしろ 15~20 秒の範圍にわたり頻度がほぼ同じ位の週期の波が多く、明確な卓越週期は之等頻度圖からは求め難いのに對して第 2 尾部に於ては第 1 尾部の場合と異り 16 秒の週期をもつ波が極めて明瞭に卓越してゐて第 2 尾部の卓越週期を定むるのに疑問の餘地がなさうに見られるといふことである。

第 2 尾部の卓越週期は上のごとくしてほぼ明瞭であるとしても第 1 尾部の卓越週期を求め、更に第 2 尾部についても確な卓越週期の値を見出すために次節に於ては平均週期曲線を求めて考察を行ふこととする。

#### § 16. 平均週期曲線

尾部の卓越週期を更に精しく決定するために、前章に用ひられたと同様一つ一つの地震について平均週期を求めることとした。即ち、夫々の地震記象について、P の始

めから1分毎の區間に區切り、その區間の中に存在する全ての波について週期の平均を行ひ、之より卓越週期を見出さんとしたのである。此の場合前章にも述べた如く、週期の長い波が同じ1分間の中に存在し得る個數は、週期の短い波の個數に較らべて當然すくないのであるが故に、區切られた區間内の波について簡単に算術平均を行つたのみにては、このことに對する不公平が取除かれずに残ることとなる。従つてこのことによる不公平を除きなるべく適當なる平均週期の値を求めるために週期の長さに応じて適當な荷重を附し重價平均を行ふことが正當であると考へられる。従つて此の場合には、波の週期の長さそれ自身を重みと見て重價平均を行ひ各1分毎の平均週期の値を算出した。即ち平均週期  $T_0$  は、 $T_0 = \sum t_n m_n / \sum t_n$  で定義せられる値を用ひたのである。茲に  $t_n$  は考ふる1分間の全ての週期で  $m_n$  は  $m_n = t_n / 60$  で定義せられる荷



第 6 圖

Earthq. No. 42.  $T_1 = 10.4 \pm 0.15$  s

第 7 圖

Earthq. No. 43.  $T_1 = 17.5 \pm 0.15$  s

第 8 圖

Earthq. No. 44.  $T_1 = 17.5 \pm 0.18$  s

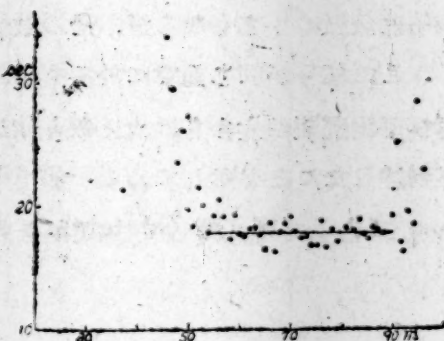
第 9 圖

Earthq. No. 45.  $T_1 = 18.6 \pm 0.18$  s

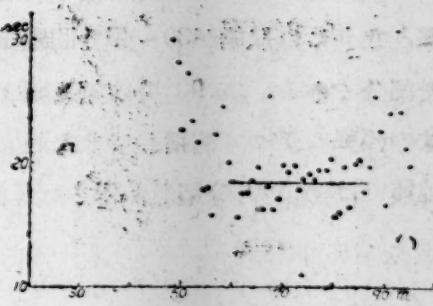


重である。このやうにして夫々の地震について求められた  $T_0$  の値は第IV表に見られる如くである。これを一つ一つの地震について震央距離の小さいものから順次に圖示すれば第 6~17 圖の如くなる。この中第 6~12 圖に示された平均週期曲線は先にも述べた如く河角博士が讀取られた値に基き筆者が計算した結果である。

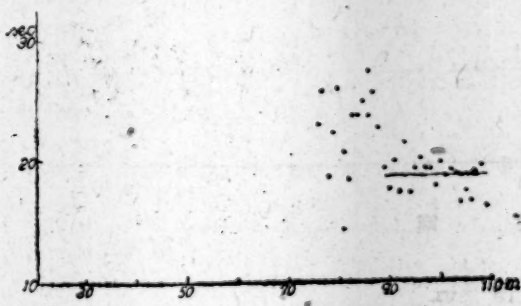
斯くの如くして得られた平均週期曲線を見るに、表面波による大週期の波の部分の



第 10 圖

Earthq. No. 46,  $T_1 = 17.8 \pm 0.11$  s.

第 11 圖

Earthq. No. 47,  $T_1 = 18.4 \pm 0.18$  s.

第 12 圖

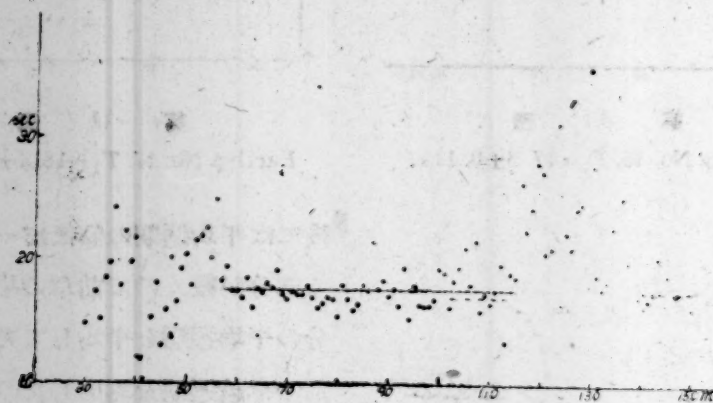
Earthq. No. 48,  $T_1 = 18.5 \pm 0.18$  s.

後には平均週期の値ほぼ一定と看做し得る部分が續くので前章の場合と同様此部分の平均週期を平均して夫々の地震の尾部の卓越週期を算出したのである。算出された卓越週期の値は直線を以て圖に示されてゐる。直線の長さはその求められた全區間を示すものである。夫々の地震についての平均週期とそれより求めら

れた卓越週期とについて以下に少しく説明を加へることとする。

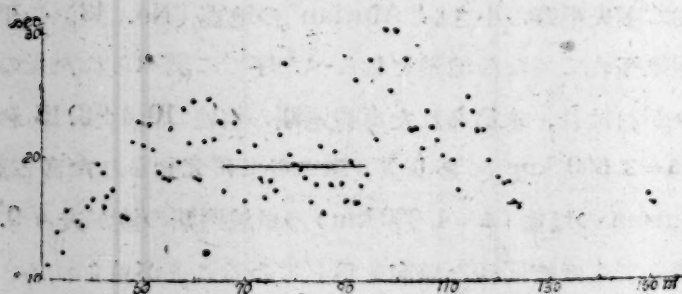
第 6 圖は比較的震央距離の小さい Alutian の地震 (No. 42) の平均週期曲線である。他の震央距離極めて大なる地震をしらべた序でに調べられたもので、第 69 分まで週期の讀取りが行はれ、求められた卓越週期の値は  $10.4 \pm 0.15$  秒となる。この地震の震央距離  $\Delta = 2,500$  km であり第 3 章に於て研究せられた宮古島の地震 ( $\Delta = 1,790$  km) 及び Burma の地震 ( $\Delta = 4,000$  km) の卓越週期の値が夫々 9.7 秒及び 13.6 秒であるのと比較してもほぼ同様な傾向を示してゐることが見られる。第 7 圖は之より更に震央距離大なる Mexico の Acapulco 附近の地震 (No. 43) の平均週期曲線である。震央距離 11,700 km 卓越週期は第 51 乃至 83 分の區間の平均週期より

求められ  $T_1=17.5\pm0.15$  秒となる。第8圖は Antarctic の地震 (o. 44) の平均週期曲線である。卓越週期の算出せられた区間は第 57~66 分の短時間にしかすぎないが求められた値は  $T_1=17.5\pm0.18$  秒となつてゐる。第 9, 10 及び 11 圖は夫々 Guatemala (No. 45), Peru (No. 46) 及び Chili Iquique 附近 (No. 47) の地震の平均週期曲線である。之等の震央距離は夫々 12,400 km, 15,900 km 及び 16,400 km であり  $P$  の始めより數へて 50 分目の前後に於て表面波が優勢に發達してゐることが明かに認められる。その後平均週期の値は急激に小さくなるが、その數値はほぼ一様となりこの状態が30~40分間繼續する。この部分が即ち前章に於ても尾部と定義した部分である。第 90 分の始め頃より再び平均週期の大きさは大となり始めてをり地球の優弧に沿つて傳播してきた表面波が到達したことを示してゐる。第 10, 11 圖の地震では第 100 分迄しか示されてゐないのであるが第9圖 Guatemala の地震



第 13 圖

Earthq. No. 49,

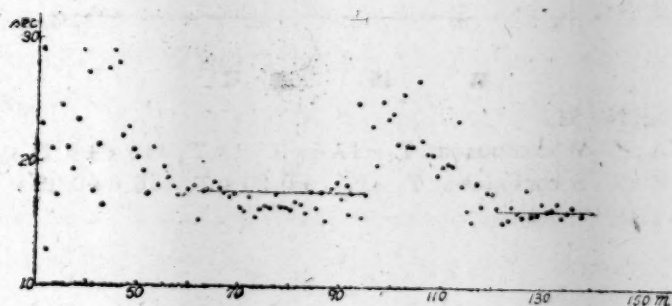
 $T_1=17.5\pm0.13$  s. (57 min.~115 min.) $T_1=17.6\pm0.32$  s. (139 min~150 min.) $T_2=16.9\pm0.32$  s. (102 min~113 min.)(  $T_1$ ; full line:  $T_2$ ; broken line)

第 14 圖

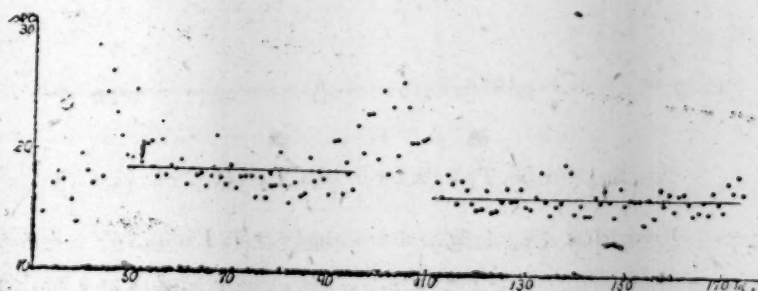
Earthq. No. 50,  $T_1=19.2\pm0.36$  s,  $T_2=16.2\pm0.13$  s.



にては更にその後第126分頃まで讀取が行はれてゐるので優弧に沿つて傳播してきた表面波が通過してしまつた後に確然と境ひをなして平均週期の値が再び小さくなる性質を示すことを認めることが出来る。この性質は後に示す第13~17圖等には顯著に發達してゐるのが見られる事柄であるので、そこで詳らかに論ずることとする。これらの地震について略々第60~90分の間で求められた卓越週期の大きさは夫々  $18.6 \pm 0.18$  秒,  $17.8 \pm 0.11$  秒及び  $18.4 \pm 0.18$  秒となる。第12圖 Chili Capiapo 附近の地震 (No. 48) は震央距離 16,900 km に及んでゐるので第70分の終り頃まで劣弧に沿ふ表面波が存在してゐることが見られる。之では讀取りを行つた區間が短いので前の例の如き優弧に沿つて傳播してきた表面波が現はてはゐないが、第79~98分間の平均週期より求められた卓越週期は  $18.5 \pm 0.18$  秒となる。次の第13乃至17圖に示された平均週期曲線は夫々 Mo. 49 Mexico の地震, No. 50 Ecuador の地震, No. 51 Peru の地震, No. 52 Chili の地震及び No. 53 South Georgia の地震のも



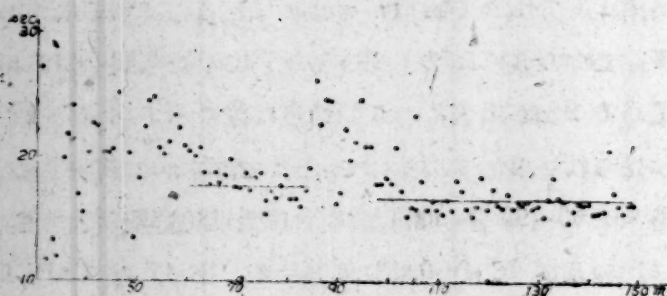
第 15 圖 A



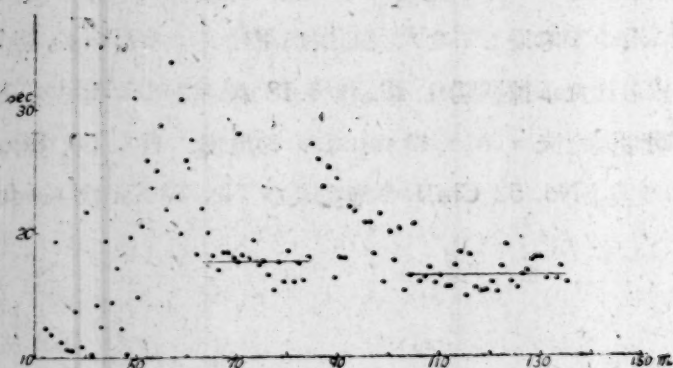
第 15 圖 B

Earthq. No. 51

A; E-W component,  $T_1 = 17.7 \pm 0.16$  s,  $T_2 = 16.3 \pm 0.10$  s.B; N-S component,  $T_1 = 18.4 \pm 0.17$  s,  $T_2 = 16.6 \pm 0.09$  s.



第 16 圖 A



第 16 圖 B

Earthq. No. 52.

A; E—W component.  $T_1 = 17.6 \pm 0.19$  s,  $T_2 = 16.6 \pm 0.11$  s.B; N—S component.  $T_1 = 17.7 \pm 0.20$  s,  $T_2 = 16.6 \pm 0.15$  s.

第 17 圖

Earthq. No. 53,  $T_1 = 18.1 \pm 0.16$  s,  $T_2 = 16.2 \pm 0.11$  s.

のである。この中 Equador を除く他の 4 ケの地震は第 15 節に於てその頻度曲線について論じてきた地震である。之等上記 5 ケの地震の震央距離は最も近い Mexico の地震で 11,600 km, 最も遠い South Georgia の地震では 17,500 km に迄及び、地球上に起りうる最も震央距離の大きい地震の一つに属すと呼びうるであらう。之等の地震は單に震央距離が大であるのみでなく、地震の規模も大であつたため、地球劣弧



に沿ふ表面波は勿論優弧に沿つて傳播して來た表面波が大週期を以て發現してしばらく振動を繰返した後通過し終つた後に於ても更に數 10 分の間にわたつて地震動が繼續し、且つそれによる地動の記録が與へられた。従つてそれらの振動の週期の讀取りを行ふことが出來たので之等の部分の振動の平均週期を求め詳しく研究を進めることが出來た。この優弧に沿ふ表面波に續く部分は既に前節週期頻度圖を求める時に第2尾部となづけたところであるのでこゝで卓越週期を求めるに際してもこの名前を用ひることとする。その結果之の第2尾部に對して劣弧に沿つて傳播して來た表面波につゞく振動を特に第1尾部と呼び、優弧のあとにつゞく第2尾部の振動と區別することとする。即ち第1~3章に於て普通に尾部と呼んできたものは全て第1尾部に相當する部分である。さて上記の震央距離極めて大なる地震の平均週期曲線より夫々第1尾部及び第2尾部の卓越週期を求めた結果は夫々圖に示すごとくである。Mexico の地震( $\Delta=11600$  km) に於ては頻度曲線の場合には、第 50~100 分の間の週期曲線より第1尾部の卓越週期が求められ第 101~120 分の間の波より求められた結果より第2尾部の卓越週期の値が決定せられた。併し實際には第 101 分より第 110 分に至る間には 25 秒以上の長い週期をもつ波が現れてくるため之等の波も全て平均してしまつた結果得られてゐる平均週期曲線からはそれらの區間に於て特に小さい平均週期を與へるやうな傾向はあらはれてゐない。第 57~115 分の間の平均週期より求められた卓越週期は  $17.5 \pm 0.13$  秒となり圖に實線で畫かれてゐる。而して頻度曲線の場合のことを参照して 25 秒より長い波は除外して各分毎の平均週期を算出すれば第 101~120 分の區間に於ける平均週期は夫々圖に白丸で記入したごとき値となり之より求めた卓越週期は圖に破線を以つて記入せられてゐる如く 16.9 秒となり頻度圖にて頻度極大のもの 16 秒となつたものと一致した値を與へる。

之は優弧に沿ふ表面波より前に見られる部分であり、上にのべたごとき意味での第2尾部とは少しくことなるやうであるが第1尾部の振動が衰へた後に發現してゐる振動であるので、後に述べるごとく第2尾部の振動機構より考へこの部分に第2尾部の振動が現れその卓越週期が見られてゐるものと考へても差支へを生じない。更に優弧に沿ふ表面波が終つて後第 140~150 分の間の平均週期より卓越期が求められたがその値は  $17.6 \pm 0.32$  秒となつてゐる。第 14 圖 Ecuador の地震 ( $\Delta=14,300$  km) にては第 66~94 分の間で第1尾部による卓越週期が求められ  $T_1=19.2 \pm 0.36$  秒、第 123~151 分の間で第2尾部の卓越週期が求められ  $T_2=16.2 \pm 0.13$  秒となつてゐる。第 15 圖は Peru の地震 ( $\Delta=14,900$  km) の平均週期曲線である。Peru の地震及び後述の Chili の地震の 2 つの地震に於ては東西及び南北の兩成分について平均週

期が求められた。いづれに於ても  $A$ ; 東西成分,  $B$ ; 南北成分の平均週期曲線を示すものである。第1尾部の卓越週期は  $A$  にては第 49~95 分,  $B$  にては第 48~95 分の間で求められ夫々  $17.7 \pm 0.16$  秒, 及び  $18.4 \pm 0.17$  秒となつてゐる。圖に於てこの第1尾部の平均週期のバラツキは可なり著るしいことが目立つてをり、之等の平均週期を適當な區間について平均したものを以て卓越週期と定めてよいかどうか疑問を生じてくると思はれる。之に反し第2尾部の平均週期は點のバラツキはきはめて小さく、極めて一樣な値を與へてをり  $A$ ; 第 121~142 分,  $B$ ; 第 111~174 分の區間より求められた卓越週期の値は夫々東西成分  $16.3 \pm 0.10$  秒, 南北成分  $16.6 \pm 0.09$  秒となつてゐる。第2尾部の卓越週期は兩成分とも極めて一致した値を與へてゐるのに反して第1尾部の卓越週期は、兩成分について略々 0.7 秒の差異を生じてゐる。このことは第1部尾の部分に於ては様々な原因により種々の週期の振動が生ぜしめられてゐて必ずしも一定の週期の波のみが到達してゐるのではないことを示すものごとくである。従つて確率誤差の値も可成りに大きくなつてをり之に反し、第2尾部の確率誤差の値は第1尾部のものにくらべ  $1/4$  の程度にしかすぎず、兩成分より得られてゐる卓越週期の値も極めてよく一致してゐて、この部分にては一定の週期をもつ振動の繰返しが行はれてゐることを示してゐる。

次の第 16 圖, Chili の地震 ( $\Delta = 16,800$  km) の平均週期曲線も, Peru の地震のものと全く同様な傾向を示してゐる。第1尾部の卓越週期は東西及び南北兩成分共に略々第 60~80 分の間で求められてゐるが、此の地震に於ては兩者の値はほぼ一致してゐて、東西成分よりは  $T_1 = 17.6 \pm 0.19$  秒, 南北成分よりは  $T_1 = 17.7 \pm 0.20$  秒となつてゐる。之に對し第2尾部の卓越週期は兩成分とも第 100 分以後數 10 分も繼續されてゐる小振幅の振動より求められてゐるが確率誤差は第1尾部の確率誤差よりもはるかに小さく且つ兩成分より求められた卓越週期は全く一致してゐる。東西成分にては  $T_2 = 16.6 \pm 0.11$  秒, 南北成分  $16.6 \pm 0.15$  秒となつてゐる。

最も震央距離大なる South Georgia の地震 ( $\Delta = 17,500$  km) の平均週期曲線は第 17 圖に示すごとくである。第1尾部の卓越週期は第 71~98 分の間で求められ  $T_1 = 18.1 \pm 0.16$  秒, 第2尾部の卓越週期は第 103~159 分の間で求められ  $T_2 = 16.2 \pm 0.11$  秒となつてゐる。

#### § 17. 卓越振動週期と震央距離との間の關係

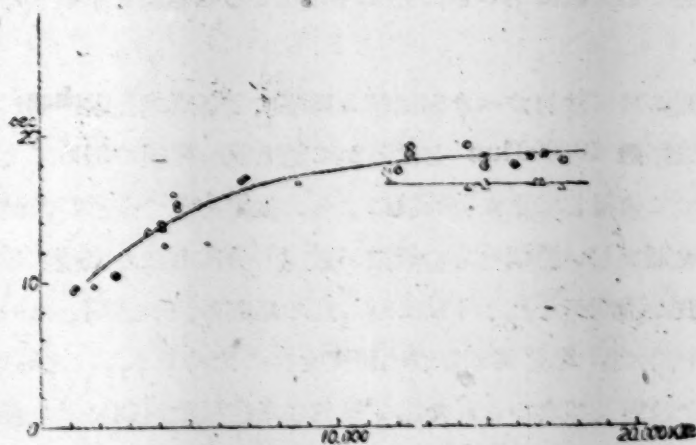
以上の如くにして求められた尾部の振動の卓越週期中第1尾部によるものを表にして示せば第 V 表の如くなる。震央距離を横軸に卓越振動週期を縦軸にとり圖示すれば第 18 圖の如くなる。圖に黒丸で記入せられてゐるのは上に得た第 V 表による第



## 第 V 表

Predominant period of the 1<sup>st</sup> coda waves

| Earthq.<br>No. | Epicentral<br>distance<br>km | Component | Predominant per-<br>iod of the 1 <sup>st</sup> coda<br>wave | portion |      |
|----------------|------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------|---------|------|
|                |                              |           |                                                             | min.    | min. |
| 42             | 2,500                        |           | 10.4±0.15                                                   | 41~     | 69   |
| 43             | 11,700                       |           | 17.5±0.15                                                   | 51~     | 83   |
| 44             | 12,000                       |           | 17.5±0.18                                                   | 57~     | 66   |
| 45             | 12,400                       |           | 18.6±0.18                                                   | 63~     | 89   |
| "              | "                            |           | 19.2±0.18                                                   | 117~    | 126  |
| 46             | 15,900                       |           | 17.8±0.11                                                   | 54~     | 90   |
| 47             | 16,400                       |           | 18.4±0.18                                                   | 59~     | 87   |
| 48             | 16,900                       |           | 18.5±0.18                                                   | 89~     | 108  |
| 49             | 11,600                       | E-W       | 17.5±0.13                                                   | 57~     | 115  |
| "              | "                            | E-W       | 17.6±0.32                                                   | 139~    | 150  |
| 50             | 14,300                       | N-S       | 19.2±0.36                                                   | 66~     | 94   |
| 51             | 14,900                       | E-W       | 17.7±0.16                                                   | 49~     | 95   |
| "              | "                            | N-S       | 18.4±0.17                                                   | 48~     | 95   |
| 52             | 16,800                       | E-W       | 17.6±0.19                                                   | 60~     | 84   |
| "              | "                            | N-S       | 17.7±0.20                                                   | 62~     | 84   |
| 53             | 17,500                       | N-S       | 18.1±0.16                                                   | 71~     | 98   |



第 18 圖

The relation between the predominant period and the epicentral distance.

●; A predominant period of 1st coda waves.

○; A predominant period of 1st coda waves, studied in Chapter 3.

△; A predominant period of 2nd coda waves.

1 尾部の卓越週期をあらはす値である。△の印で記入してあるのは後にのべる第2尾部によるものである。既に第3章に於て、震央距離 10,000 km, より小さい地震について尾部の卓越振動週期と震央距離との関係が見出されてゐるので(第3章第IV表)

比較のためにそれらの値を同時に記入することとすれば第 18 圖の白丸の如くなる。

先づ始めに第 1 尾部の卓越週期にのみ注目することとする。圖に明らかな如く第 1 尾部の卓越週期は震央距離が大となるにつれ次第に大きくなる傾向が見られる。之の傾向は白丸で記入せられてゐる震央距離の小さい地震について既に見出された事柄であり、尙且それら白丸について得られてゐる卓越週期震央距離曲線を延長したものは正に此の章に於て得られた卓越週期震央距離曲線と一致してゐることを認めることが出来る。而して震央距離が大となるにつれて卓越週期の長くなる割合は益々小となり 11,300 km 以上では卓越週期の増加率がほとんど零に近くなつてゐることが見られる。併し、ここに得られてゐる卓越週期の値については前にも一寸觸れた如く各分の平均週期の値も可なりに變化が多く従つて之より求められた卓越週期の確率誤差も相當に大きく、ここに行つた如き方法によつて讀取をなして得られてゐる見かけ上の週期がはたして眞の地動の週期を見出したことになつてゐるかどうかについては極めて疑問とすべき點が多いので、得られてゐる地震記象に基き詳しく解析を行つて振動週期を求め、検討を行ふことなしに之以上の議論を進めることは無意味であると思はれるので、之等卓越週期—震央距離曲線については、後に章をあらためて再び論述することにしたい。ただ、ここに得られてゐる値も第一近似値としては充分信用しうる値であることは當然であり既に第 3 章に於て得られてゐる結論と矛盾しないことが勿論認められる。

第 2 に第 18 圖に於て注目すべき點は第 2 尾部による卓越振動週期が決定せられたことである。震央距離 10,000 km をはるかに越え且つ規模の極めて大きい地震の場合には優勢に沿つて傳播してきた表面波による大振幅をもつ振動が消滅してしまつた後に於て極めて規則正しい週期をもつ振動が數 10 分にわたり繼續することが注意せられ之の部分の波の週期がそれより前に見られる尾部の波の週期とは一致しないことからこの部分を特に第 2 尾部となづけ研究を行つたのである。之等第 2 尾部の振動の觀察せられた地震及び求められた第 2 尾部の卓越振動週期を下の表にあげてある。之等の値を震央距離に對して圖示すれば前の第 18 圖に△の印を以て記入したごとくなる。この表及び圖に於て最も著るしいことは、求められた卓越週期がいずれも 16 秒であつて、研究せられた地震の震央距離の相違に關係せず同一であるといふことである。而も求められた卓越週期に對する確率誤差はいずれも極めて小さく規則正しい週期をもつた波が持續してゐることが明らかである。之等の事柄から、極めて特色ある振動状態が勵起せられた結果このやうな現象が現れるものと考へることが出来る。即ち、大なる週期をもつ表面波が通過して行つた後に於ても尙觀測點の附近には



## 第 IV 表

The predominant period of the 2nd coda waves.

| Earthq.<br>No. | Epicentral<br>distance | Component | Predominant period<br>of the 2nd coda<br>waves |     | portion |
|----------------|------------------------|-----------|------------------------------------------------|-----|---------|
|                |                        |           | sec                                            | sec |         |
| 49             | 11,600<br>km           | E — W     | 16.9±0.32                                      |     | 102~113 |
| 50             | 14,300                 | N — S     | 16.2±0.13                                      |     | 123~151 |
| 51             | 14,900                 | E — W     | 16.3±0.10                                      |     | 121~142 |
| "              | "                      | N — S     | 16.6±0.09                                      |     | 111~174 |
| 52             | 16,800                 | E — W     | 16.6±0.11                                      |     | 97~148  |
| "              | "                      | N — S     | 16.6±0.15                                      |     | 103~135 |
| 53             | 17,500                 | N — S     | 16.2±0.11                                      |     | 103~159 |

複雑な反射屈折を行つた波が到達してくるであらうが、それらの波の週期は表面波のそれの如く大きなものではなく、又それらの波の energy も亦充分大きなものではないので、それらの波により地震計の設置されてゐる場所の表面層の振動が勵起せられると考へるとき外力による強制振動は充分に發達せず終り、それらの波は、衝撃性の不規則な外力を振動系に加へたとき作用を演じ、表面層の自由振動が起されてその週期が現はれてゐるものと考へうるであらう。そのやうな考へ方に従へば、ここに得られた如く第2尾部にあらはれてゐる振動は振動週期が夫々の地震について震央距離の相違に關はらず一定であつて、しかも極めて規則正しい週期性が保持せられてゐることに對する一つの解釋となし得るであらう。

驗震學上の研究より既に諸家により表面層の配列狀況は色々に推定せられてゐるがここに得られたとき週期をもつ自由振動がそのやうな表面層の中で存在し得るや否やの問題については後章に述べることにしたい。

この章を終るにあたり前章に引きつづき終始御指導と御鞭撻とを與へられた萩原教授に深甚の感謝の意をあらはす次第である。河角教授からは教授の遂行せられた週期の讀取の結果を貸與していただく御好意を賜り筆者の感謝にたへざる所である。尙又坪井忠二教授からしばしば與へられた適切な御助言に對してここに厚く御禮申し上げる次第である。

## 第 II 表

Period observed. (unit second)

Black dots (•) in the Table indicate the end of every one minute.  
 Figures in brackets represent the number of minute that have elapsed since the beginning of the *P* wave.

| No. 42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | No. 43 |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|
| (9)    | •    | •    | 11.4 | 7.9  | 15.9 | 13.8 | 9.7  | 9.1  | 8.4  | 6.8  | (41)   | 10.5 | 25.0 |
|        | 14.9 | 12.4 | 13.7 | •    | •    | 12.8 | 12.4 | 11.3 | 9.0  | 11.8 |        | 6.8  | •    |
| 24.0   | 14.5 | 9.1  | 20.0 | 9.1  | 14.3 | •    | 10.8 | •    | 9.0  | 9.9  | 15.5   | •    | 17.5 |
| 22.0   | 21.7 | 9.3  | •    | 14.7 | 8.4  | 13.4 | 8.7  | 11.4 | •    | •    | 14.0   | 22.1 | 14.0 |
| 20.6   | 10.7 | 10.2 | 18.9 | 8.0  | 17.7 | 12.3 | 8.9  | 9.6  | 8.4  | 10.8 | 22.0   | 25.3 | 13.8 |
| (10)   | •    | 12.4 | 11.7 | 17.8 | 16.6 | 12.5 | 8.6  | 8.9  | 6.8  | 7.5  | •      | 23.3 | •    |
|        | 8.5  | •    | 8.5  | •    | 14.2 | 10.9 | •    | 9.1  | 10.1 | 9.1  | 21.8   | (50) | 16.0 |
| 8.4    | 16.2 | 10.0 | 14.6 | 6.4  | (40) | 10.0 | 13.2 | 8.9  | 10.6 | 5.3  | 9.8    |      | 16.5 |
| 5.4    | 12.4 | 7.4  | •    | 13.5 | •    | •    | 13.2 | 8.7  | 11.4 | 12.3 | 11.8   | 24.8 | •    |
| 7.0    | 7.8  | 7.3  | 18.6 | 15.6 | 17.7 | 9.7  | 10.9 | •    | 9.2  | 10.5 | 7.6    | 27.3 | 15.3 |
| 10.9   | 9.0  | 5.6  | 17.8 | 7.4  | 11.6 | 11.2 | 8.5  | 9.0  | •    | •    | 10.3   | 22.3 | 14.5 |
| 13.4   | •    | 10.7 | 14.1 | 12.8 | 9.7  | 16.2 | •    | 10.1 | 13.8 | 9.8  | 9.8    | •    | 16.8 |
| 21.7   | 10.1 | 10.2 | 8.1  | 5.3  | 9.8  | 12.6 | 13.4 | 10.1 | 12.4 | 7.2  | •      | 15.3 | (60) |
| •      | 8.6  | •    | •    | •    | 12.5 | 11.4 | 11.6 | 9.0  | 11.4 | 9.3  | 8.3    | 12.8 |      |
| 16.7   | 11.2 | 6.7  | 14.3 | 12.6 | •    | •    | 10.5 | 7.9  | 7.6  | 6.8  | 15.6   | 16.8 | 16.3 |
| 9.8    | 9.1  | 8.0  | 10.3 | 19.3 | 9.5  | 9.7  | 9.8  | 9.0  | 10.3 | 9.0  | 9.2    | •    | 16.8 |
| 5.1    | 6.6  | 7.7  | 13.1 | 16.8 | 11.2 | 11.0 | 9.9  | 10.1 | 9.1  | 7.2  | 8.3    | 23.8 | 19.6 |
| 4.2    | 6.9  | 8.9  | 12.2 | 8.4  | 10.2 | 9.9  | 12.2 | •    | •    | 11.0 | •      | 20.5 | •    |
| 10.0   | 10.9 | 8.1  | 6.0  | 11.6 | 8.1  | 8.8  | •    | 13.3 | 8.9  | •    | 15.8   | 17.6 | 16.0 |
| 16.1   | •    | 13.6 | (30) | •    | 10.7 | 10.0 | 11.4 | 9.2  | 13.8 | 11.0 | 17.5   | 14.6 | 15.3 |
| •      | 21.3 | 14.0 | •    | 8.3  | •    | •    | 11.2 | 7.6  | 8.8  | 13.1 | 20.5   | •    | 18.6 |
| 12.7   | 20.2 | •    | 14.2 | 10.8 | 8.3  | 10.2 | 9.9  | 11.4 | 9.9  | 7.7  | 21.5   | 15.0 | •    |
| 10.9   | 18.3 | 10.8 | 8.1  | 11.1 | 16.0 | 9.4  | 7.9  | 6.7  | 13.8 | 9.2  | •      | 15.0 | 18.8 |
| 11.9   | •    | 9.5  | 13.5 | 13.3 | 13.7 | 9.7  | 5.6  | •    | 9.3  | 9.4  | 9.3    | 16.5 | 15.8 |
| 15.6   | 23.0 | 9.4  | 12.2 | 14.0 | 7.9  | 9.5  | 9.9  | 8.1  | •    | 7.4  | 17.6   | 15.0 | 15.5 |
| 18.8   | 9.1  | 10.1 | 7.9  | 12.3 | 9.9  | 8.9  | •    | 5.8  | 9.0  | 9.1  | •      | •    | 14.6 |
| •      | 7.8  | 6.8  | •    | 8.3  | •    | 9.6  | 12.8 | 9.3  | 6.6  | •    | 22.3   | 13.5 | •    |
| 18.6   | 10.6 | 10.3 | 15.3 | •    | 8.2  | •    | 12.8 | 10.5 | 9.5  | 8.2  | 20.5   | 23.1 | 16.6 |
| 8.6    | 7.8  | •    | 15.9 | 9.8  | 10.9 | 8.9  | 10.4 | 6.5  | 8.7  | 9.8  | •      | 14.6 | 21.0 |
| 11.6   | (20) | 11.3 | 5.6  | 15.2 | 13.7 | 9.6  | 7.9  | 7.4  | 10.5 | 8.6  | 20.5   | •    | 15.0 |
| 13.9   | •    | 12.6 | 10.0 | 14.4 | 8.3  | 11.2 | 7.8  | 9.6  | 9.5  | 7.0  | 8.1    | 15.1 | •    |
| •      | 9.9  | 12.8 | 18.7 | 8.6  | 10.0 | 8.8  | 9.2  | (60) | •    | 10.5 | 7.5    | 21.0 | 13.8 |
| 14.4   | 16.5 | 15.8 | •    | 12.2 | 8.5  | 10.0 | •    | •    | 9.7  | 11.3 | 14.0   | 20.3 | 19.0 |
| 14.5   | 7.1  | 13.2 | 10.3 | •    | 10.1 | 14.2 | 11.8 | 8.0  | 7.3  | •    | •      | •    | •    |
| 13.8   | 8.9  | •    | 11.7 | 13.4 | •    | 10.3 | 8.4  | 11.3 | 9.7  | •    | 18.5   | 15.3 | 18.1 |
| 11.1   | 11.4 | 8.4  | 14.6 | 13.0 | 12.7 | (50) | 11.4 | 10.1 | 8.0  | •    | 10.8   | 12.8 | 17.8 |
| 10.3   | 8.3  | 12.4 | 6.8  | 17.3 | 8.2  | •    | 9.7  | 8.0  | 6.1  | •    | 7.1    | 8.3  | 14.6 |

(次頁へ續く)



第Ⅰ表 (續 き)

| No. 44 |      |      |      | No. 45 |      |      |      |
|--------|------|------|------|--------|------|------|------|
| 15.1   | 18.8 | (42) | 22.3 | 17.0   | (40) | 26.6 | 18.0 |
| .      | .    | .    | .    | 19.7   | 17.0 | 21.1 | 20.3 |
| 19.3   | 17.5 | 17.8 | 17.5 | 18.0   | 8.5  | 25.6 | .    |
| 17.5   | 14.8 | 17.8 | 24.8 | .      | 20.0 | 25.3 | 18.8 |
| .      | .    | 25.0 | .    | 15.2   | 13.0 | .    | 19.1 |
| 17.5   | 17.6 | .    | 28.3 | 20.1   | 8.0  | 24.3 | 17.0 |
| 18.0   | .    | 13.8 | 28.6 | 16.8   | .    | 12.6 | .    |
| .      | 21.5 | 18.8 | .    | .      | 19.0 | 9.6  | 19.8 |
| 16.6   | 19.6 | 21.5 | 25.0 | 20.5   | 22.0 | 19.8 | 20.1 |
| 18.0   | 16.1 | .    | 25.0 | 16.0   | 25.0 | .    | 19.8 |
| 17.0   | 15.8 | 24.5 | 27.8 | 17.0   | .    | 28.6 | .    |
| .      | (80) | 15.8 | .    | .      | 22.5 | 20.1 | 13.3 |
| 15.5   | .    | 19.1 | 19.5 | 48.5   | 20.3 | 19.8 | 16.3 |
| 19.3   | .    | .    | .    | 18.0   | 25.8 | .    | 13.6 |
| 19.3   | 17.5 | 21.1 | 14.3 | .      | 22.0 | 16.5 | 15.3 |
| 17.5   | 1.7  | 20.0 | 11.8 | 24.5   | 21.3 | .    | 17.1 |
| .      | 15.5 | 26.8 | 19.1 | 21.5   | .    | 16.3 | 20.0 |
| (70)   | .    | .    | .    | .      | 10.8 | 17.8 | 17.8 |
| 70     | 21.0 | 18.8 | 19.0 | 25.0   | 21.3 | 23.3 | .    |
| 1.7    | 14.8 | .    | 18.0 | 32.0   | 24.8 | .    | 22.1 |
| 19.3   | .    | 20.3 | 17.5 | 39.5   | 26.1 | 19.6 | 19.3 |
| 17.6   | 16.3 | 18.0 | .    | 30.1   | 20.3 | 16.3 | .    |
| .      | 16.0 | .    | 18.0 | .      | 13.0 | .    | 20.5 |
| 18.8   | 17.0 | 23.0 | 20.5 | 30.1   | .    | 20.5 | 23.3 |
| 18.5   | 16.5 | 15.8 | 13.5 | 33.0   | 21.0 | 22.5 | .    |
| 19.1   | 16.3 | 22.5 | 15.0 | .      | 19.6 | 17.5 | 17.0 |
| .      | .    | .    | (60) | 30.0   | 23.1 | .    | 18.5 |
| 17.5   | 13.6 | 17.3 | .    | 28.1   | .    | 17.5 | 18.0 |
| 18.5   | 14.1 | 20.8 | 19.0 | .      | 24.3 | 18.0 | 18.8 |
| .      | 15.8 | 23.3 | 20.0 | 22.3   | 26.3 | 21.3 | .    |
| 18.1   | .    | .    | 17.0 | 28.3   | 25.0 | (70) | 21.0 |
| 20.1   | (50) | .    | .    | .      | (60) | 19.3 | 13.8 |
| 19.5   | .    | 23.3 | 16.0 | 23.5   | 24.3 | 14.3 | 1.3  |
| .      | .    | 25.1 | 17.0 | 32.3   | 25.8 | 21.6 | 17.8 |
| 20.1   | .    | 20.8 | 17.5 | (50)   | .    | .    | .    |
| 15.6   | .    | .    | .    | 25.5   | 23.3 | 12.3 | 17.5 |
| 16.5   | .    | .    | .    | 23.3   | 27.3 | 16.1 | 12.3 |
| 16.8   | .    | 34.5 | 19.2 | .      | 19.0 | 13.3 | 25.3 |
| 17.1   | .    | 14.5 | .    | 26.0   | .    | .    | 20.5 |
| 17.8   | 27.5 | .    | .    | 24.8   | 22.0 | 16.0 | 20.5 |

(次頁へ續く)

第Ⅰ表 (續 き)

| No. 46 |      |      |      | No. 47 |      |      |      | No. 48 |      |      |       |      |      |
|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|-------|------|------|
| 18.8   | 16.5 | 17.5 | 32.0 | (48)   | 19.8 | 14.5 | 19.3 | 24.0   | (76) | 26.1 | 21.0  | 13.5 | (30) |
| 18.5   | .    | 18.0 | .    | (48)   | 20.6 | 18.8 | 22.0 | 28.3   | (76) | 26.3 | 19.0  | .    | (30) |
| .      | 18.5 | 17.0 | 26.0 | 30.3   | 20.8 | .    | .    | 24.8   | 23.5 | 26.3 | .     | 15.5 | 21.1 |
| 13.8   | 20.3 | 18.5 | 25.5 | .      | (60) | 19.5 | 23.3 | .      | 19.6 | .    | 21.5  | 18.5 | 11.0 |
| 16.0   | 13.6 | .    | .    | 28.8   | (60) | 13.6 | 14.8 | 24.0   | 26.6 | 23.1 | 23.0  | 21.0 | 10.8 |
| 17.5   | .    | 18.0 | 22.8 | 25.0   | 18.5 | 19.1 | 16.8 | 18.3   | .    | 20.1 | 17.0  | .    | 8.6  |
| 16.3   | 17.5 | 18.8 |      | (50)   | 19.3 | (70) | (80) | 14.8   | 21.5 | .    | 15.0  | 20.5 | .    |
| .      | 16.3 | 16.5 |      | (50)   | 17.8 | (70) | (80) | (90)   | 28.5 | 10.5 | .     | 20.0 | 8.2  |
| 17.1   | 16.3 | .    |      | 21.8   | 17.0 | 17.5 | 17.8 | (90)   | .    | 17.8 | 18.0  | 18.0 | 7.0  |
| 18.8   | .    | 17.3 |      | 23.8   | .    | 20.8 | 15.8 | 16.0   | 20.8 | 24.3 | 14.3  | 18.0 | 9.2  |
| 20.0   | 17.3 | 18.8 |      | 25.0   | 19.8 | 21.0 | 13.8 | 15.6   | 14.5 | 15.0 | 14.0  |      | 9.2  |
| .      | 17.5 | 18.0 |      | .      | 18.6 | .    | 9.6  | 18.0   | 17.5 | (90) | (100) |      | 7.7  |
| 19.5   | 16.5 | .    |      | 27.5   | 17.8 | 17.3 | .    | .      | 20.5 | (90) | (100) |      | .    |
| 16.8   | 19.5 | 17.5 |      | 26.5   | .    | 17.8 | 14.8 | 25.3   | .    | 16.8 | 20.0  |      | 20.3 |
| 17.1   | .    | 17.0 |      | .      | 18.5 | 21.6 | 14.5 | 23.8   | 19.8 | 22.3 | 20.5  |      | 12.7 |
| (70)   | 17.0 | 16.0 |      | 24.8   | 16.8 | .    | 18.5 | .      | 25.0 | 10.5 | 18.1  |      | .    |
| (70)   | 17.3 | 15.3 |      | 23.0   | 17.6 | 21.3 | .    | 22.6   | (80) | 18.6 | .     |      | 15.3 |
| 18.6   | 17.6 | .    |      | 21.0   | 17.8 | 18.3 | 8.8  | 32.3   | (80) | .    | 18.3  |      | 14.8 |
| 18.3   | 14.5 | 16.8 |      | .      | .    | 17.5 | 18.8 | .      | 25.0 | 20.6 | 18.3  |      | .    |
| 21.0   | (80) | 15.5 |      | 23.6   | 18.3 | .    | 21.3 | 26.8   | 26.5 | 13.0 | 18.5  |      | 18.0 |
| .      | (80) | 14.0 |      | 19.8   | 18.3 | 22.5 | .    | 23.6   | .    | 23.5 | .     |      | 18.0 |
| 14.0   | 13.6 | 18.5 |      | .      | 18.8 | 20.0 | 18.3 | 25.0   | 19.5 | .    | 20.5  |      | 19.1 |
| 18.0   | 16.3 | (90) |      | 18.3   | .    | 20.5 | 13.8 | .      | 19.3 | 18.3 | 19.0  |      | .    |
| 19.1   | 16.8 | (90) |      | 16.5   | 18.0 | .    | 18.8 | 25.5   | .    | 23.3 | 18.0  |      | 22.5 |
| 17.8   | .    | 16.0 |      | 18.5   | 18.8 | 18.8 | .    | 19.3   | 16.8 | .    | .     |      | 18.0 |
| .      | 17.3 | 20.8 |      | 15.5   | 18.1 | 17.5 | 19.0 | 13.8   | 15.6 | 24.8 | 17.5  |      | 14.8 |
| 18.8   | 19.8 | 18.8 |      | .      | .    | 18.5 | 16.6 | .      | 25.0 | 21.8 | 20.0  |      | .    |
| 17.5   | 17.8 | .    |      | 22.0   | 19.8 | .    | 22.5 | 17.5   | .    | 13.0 | 18.0  |      | 20.9 |
| 17.0   | 16.8 | 21.0 |      | 17.5   | 20.8 | 18.8 | .    | 21.5   | 25.6 | 21.0 | .     |      | 26.6 |
| .      | .    | 23.8 |      | 14.3   | 17.0 | 20.5 | 21.0 | 20.0   | 21.5 | .    | 19.0  |      | .    |
| 16.5   | 17.8 | 29.5 |      | .      | .    | 17.5 | 17.8 |        | 26.0 | 20.6 | 13.0  |      | 18.3 |
| 17.0   | 18.5 | .    |      | 13.3   | 15.0 | .    | 21.5 |        | .    | 21.8 | 15.0  |      | 15.2 |
| 18.8   | 17.8 | 5.3  |      | 16.1   | 15.1 | 20.8 | .    |        | 21.3 | 23.0 | 17.0  |      | 19.4 |
| 16.3   | .    | 16.5 |      | 14.8   | 17.3 | 17.8 | 18.8 |        | 20.8 | .    | .     |      | 20.1 |
| .      | 17.8 | .    |      | 13.1   | 19.3 | 18.0 | 18.0 |        | .    | 20.1 | 17.5  |      | 23.5 |
| 16.3   | 19.5 | 19.1 |      | 22.1   | .    | .    | 16.3 |        | 22.6 | 19.1 | 12.0  |      | 22.8 |
| 18.8   | 19.5 | 17.6 |      | .      | 17.3 | 20.3 | 18.8 |        | 22.6 | .    | 18.0  |      | 21.8 |
| 15.3   | .    | 13.0 |      | 21.8   | 18.0 | 20.0 | .    |        | 17.8 | 19.1 | 19.5  |      | .    |
| .      | 16.5 | .    |      | 23.1   | 19.8 | 19.0 | 13.3 |        | .    | 20.3 | .     |      | 18.1 |
| 16.1   | 18.5 | 16.0 |      | .      | .    | .    | 18.0 |        | 24.3 | 19.0 | 18.5  |      | 18.7 |
| 18.5   | 17.5 | 12.5 |      | 24.3   | 17.3 | 18.5 | 23.8 |        | 28.5 | .    | 17.5  |      | (40) |
| 15.8   | .    | 17.0 |      | 26.3   | 14.8 | 19.6 | .    |        | .    | 18.0 | 5.5   |      | (40) |

(次頁へ續く)



第Ⅱ表 (續き)

| No. 49 |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 16.5   | .    | 20.6 | 16.4 | .    | 14.9 | .     | 10.8  | 17.1  | 37.0  | 21.6  | 14.6  | (30) | 15.6 |
| 23.6   | 15.1 | 18.7 | 20.9 | 19.5 | .    | 15.4  | 18.8  | 18.8  | .     | 24.6  | 20.9  | (30) | 20.5 |
| 23.4   | 19.6 | .    | .    | 15.2 | 20.3 | 13.4  | 20.0  | .     | 9.7   | .     | .     | 14.5 | .    |
| .      | 14.8 | 18.4 | 9.4  | 6.7  | 12.2 | 16.5  | 20.0  | 15.2  | 44.9  | 17.7  | .     | 16.3 | 20.8 |
| 8.7    | 15.4 | 16.6 | 22.0 | 16.4 | 16.8 | .     | .     | 16.4  | .     | 21.2  | .     | 17.4 | 17.6 |
| 18.6   | .    | 17.2 | 8.0  | .    | 19.4 | 17.6  | 18.7  | 10.5  | 16.7  | 25.6  | (150) | 13.2 | .    |
| 7.4    | 19.6 | (60) | 21.9 | 12.8 | .    | 17.8  | 20.1  | 13.5  | 25.5  | 10.9  | .     | .    | 16.4 |
| 8.3    | 21.2 | .    | .    | 17.6 | 14.8 | 10.4  | 19.3  | .     | 22.4  | 13.9  | 13.5  | 12.1 | 19.2 |
| 6.2    | 16.0 | 17.5 | 19.3 | 17.8 | 21.4 | 18.5  | .     | 16.8  | .     | 33.6  | 15.3  | 9.3  | 12.5 |
| .      | (50) | 12.5 | 17.7 | .    | 13.1 | .     | 19.9  | 20.7  | 20.9  | .     | 17.4  | 9.5  | 22.7 |
| 7.5    | 20.0 | 13.0 | 17.2 | 18.0 | 17.8 | 19.9  | 17.4  | 22.5  | 22.2  | 14.0  | .     | .    | .    |
| 8.0    | 14.6 | .    | (70) | 15.8 | .    | 12.6  | 21.6  | .     | 19.6  | 16.9  | 17.7  | .    | 16.7 |
| 8.2    | 15.1 | 17.7 | 17.7 | 17.8 | 16.1 | .     | 21.3  | .     | .     | .     | .     | 7.4  | .    |
| 8.0    | 19.6 | 18.6 | 13.2 | .    | 18.5 | 17.3  | 13.6  | 21.1  | 23.3  | 13.4  | .     | 11.7 | 17.3 |
| 6.7    | 26.9 | 15.8 | 18.1 | 14.0 | 26.1 | .     | 23.3  | 12.6  | 23.5  | 25.4  | .     | 17.9 | 17.0 |
| 8.6    | .    | 16.8 | 17.5 | 16.1 | .    | 17.3  | 16.5  | 16.4  | 25.7  | 29.5  | .     | 14.0 | 17.2 |
| 7.5    | 17.5 | .    | 17.2 | 19.3 | 8.8  | 12.8  | .     | .     | .     | .     | .     | 22.3 | .    |
| 7.0    | 18.0 | .    | .    | 16.8 | 17.5 | 13.6  | 18.0  | 23.5  | 22.3  | 17.0  | .     | .    | .    |
| .      | .    | 14.2 | 14.5 | (80) | .    | 17.7  | 16.1  | 28.7  | 26.3  | (140) | .     | 12.2 | 18.0 |
| 6.2    | 20.2 | 25.1 | 18.6 | 17.5 | .    | 27.3  | .     | .     | .     | .     | .     | 12.3 | 15.0 |
| 20.2   | 22.7 | 14.4 | 18.2 | 16.0 | 18.0 | 12.2  | .     | 24.0  | 23.9  | 19.3  | .     | 21.5 | 10.6 |
| 13.6   | .    | 15.0 | .    | 14.1 | 21.0 | 17.5  | 17.4  | 20.7  | 42.4  | 15.2  | .     | .    | .    |
| 12.5   | 21.8 | .    | 21.6 | 15.8 | 15.5 | 17.9  | 16.4  | 29.0  | (130) | 13.2  | .     | 13.6 | 18.6 |
| .      | 22.1 | 15.6 | 7.9  | .    | (90) | .     | 12.0  | .     | 16.7  | 16.7  | .     | 19.5 | 12.6 |
| 18.9   | .    | 13.4 | 7.9  | 17.7 | 16.1 | 16.5  | 22.9  | 26.0  | .     | .     | .     | .    | 12.9 |
| 17.8   | 14.2 | 15.6 | 16.3 | 5.8  | 16.0 | 17.5  | .     | 19.5  | 31.8  | 14.5  | .     | .    | 14.5 |
| 10.7   | 21.1 | 18.5 | 16.5 | 15.1 | 18.0 | 16.8  | 15.9  | .     | 22.0  | 19.8  | .     | 17.8 | .    |
| 20.8   | 25.1 | .    | .    | 22.1 | 16.9 | (100) | 15.5  | 24.9  | .     | 17.0  | .     | 13.5 | 15.2 |
| .      | 20.8 | 20.0 | 15.4 | 18.3 | .    | 14.8  | 30.2  | 10.8  | 15.1  | 11.6  | .     | 24.5 | .    |
| 15.1   | .    | 15.3 | 8.8  | .    | 18.4 | 22.0  | 21.2  | (120) | 21.1  | .     | .     | 21.5 | .    |
| 11.0   | 23.0 | 16.4 | 15.8 | 19.9 | 15.6 | 15.3  | (110) | 20.6  | 15.6  | 12.0  | .     | .    | .    |
| 8.1    | 16.0 | 15.7 | 19.2 | 12.3 | 18.5 | 19.1  | 30.1  | .     | 14.2  | 8.3   | .     | 24.2 | .    |
| 15.5   | .    | 17.0 | 20.9 | 16.1 | .    | .     | 14.6  | 23.9  | 14.0  | 18.4  | .     | 17.3 | 21.9 |
| .      | 28.0 | 18.7 | .    | .    | 16.7 | 9.3   | 16.5  | 17.2  | 22.3  | .     | .     | 16.3 | 22.2 |
| 9.4    | 25.4 | .    | 19.4 | 17.7 | 9.1  | 20.9  | 17.8  | .     | 15.1  | 24.4  | .     | .    | (50) |
| 15.1   | 19.0 | 15.4 | 16.2 | 14.1 | 18.8 | 6.0   | .     | 24.2  | .     | 12.1  | .     | 16.6 | .    |
| 15.3   | .    | 24.2 | 17.5 | 13.6 | 16.6 | 19.3  | 14.8  | 18.2  | 16.1  | .     | .     | 16.8 | 20.9 |
| 15.8   | 22.0 | 4.3  | .    | 17.2 | .    | .     | 21.1  | .     | 10.7  | 19.5  | .     | 18.8 | 22.4 |
| .      | 15.4 | 13.9 | 15.5 | .    | 18.2 | 16.7  | 15.9  | 23.1  | 22.7  | 18.2  | .     | 14.6 | 23.4 |
| 16.5   | 15.7 | 18.8 | 15.2 | 15.8 | 18.2 | 13.0  | 16.9  | 78.4  | 19.5  | .     | .     | .    | .    |
| 22.3   | .    | .    | 18.5 | 18.0 | 16.9 | 17.8  | .     | .     | .     | .     | (40)  | .    | 22.6 |
| 20.5   | 18.2 | 14.2 | 16.1 | 16.3 | 22.9 | .     | 21.9  | 10.0  | 21.6  | 15.1  | .     | 18.1 | 22.3 |

(次頁へ續く)

第Ⅰ表 (續 ぎ)

| No. 50 |      |      |      |       |       |       | No. 51 E-W Comp. |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|-------|-------|-------|------------------|------|------|------|------|------|------|
| .      | 21.4 | 16.5 | 15.2 | 17.0  | 24.6  | 21.1  | .                | (30) | 30.9 | .    | 15.4 | (70) | 17.7 |
| 25.8   | 22.4 | 22.8 | 14.1 | .     | .     | .     | .                | (40) | 19.1 | .    | .    | (70) | 18.5 |
| 16.0   | .    | .    | 17.6 | 27.7  | 23.1  | 17.6  | (169)            | 6.2  | 20.2 | 18.3 | 17.8 | .    | .    |
| 16.5   | 25.6 | 16.3 | .    | 27.6  | 21.4  | 21.4  | .                | 18.0 | 29.5 | 18.6 | 18.0 | 10.9 | 16.1 |
| .      | 21.7 | 13.8 | 21.5 | .     | .     | 19.3  | 23.6             | 24.4 | 24.5 | .    | 18.0 | 19.1 | 17.8 |
| 7.4    | 23.7 | 7.38 | 16.7 | 19.8  | 20.9  | .     | 14.6             | 18.2 | .    | 20.3 | 17.9 | 15.6 | 15.6 |
| 16.0   | .    | .    | 15.2 | 17.6  | 23.5  | .     | (170)            | .    | 8.1  | 17.1 | .    | .    | (80) |
| 16.0   | 22.5 | 19.2 | .    | 25.3  | 19.2  | (120) | 26.6             | 5.5  | 11.3 | 13.5 | 15.3 | 17.1 | .    |
| 12.8   | 20.7 | 15.8 | 19.1 | .     | .     | .     | 28.5             | 20.2 | .    | 14.3 | 16.1 | 16.5 | .    |
| 24.3   | .    | 19.0 | 22.7 | 25.6  | 16.5  | 18.0  | 24.8             | 33.3 | 14.4 | 21.7 | 16.1 | 16.6 | 17.4 |
| .      | 21.1 | 17.4 | 20.2 | 28.1  | 10.1  | 19.5  | .                | .    | 25.3 | 23.6 | .    | 16.4 | 15.8 |
| 20.8   | 24.8 | .    | .    | .     | 20.3  | 16.8  | 23.2             | 10.5 | .    | 19.9 | 18.5 | .    | 13.4 |
| 13.9   | 22.3 | 16.2 | .    | 29.9  | 22.7  | .     | 26.1             | 12.1 | 25.0 | .    | 18.5 | 16.8 | .    |
| 18.0   | .    | 13.1 | 15.8 | 31.1  | (110) | 18.7  | 6.5              | 9.1  | 16.0 | 20.0 | 14.9 | 15.3 | 17.4 |
| .      | 16.6 | 20.5 | 16.7 | .     | .     | 16.0  | .                | 7.5  | .    | 19.1 | 18.3 | 17.8 | 16.4 |
| 17.9   | 18.0 | .    | 20.0 | 26.7  | 17.6  | .     | 18.9             | 14.9 | 16.8 | .    | 18.8 | 14.3 | .    |
| .      | 16.4 | 16.4 | .    | 23.4  | 17.6  | 15.1  | .                | 18.2 | .    | 18.1 | .    | 18.9 | .    |
| 14.9   | .    | 18.5 | 22.4 | (100) | 18.1  | 20.4  | 12.6             | .    | 22.7 | 14.1 | 15.3 | .    | .    |
| .      | 21.5 | 27.3 | 20.1 | .     | .     | 17.0  | 20.9             | 13.2 | 16.9 | 20.4 | 14.8 | 14.3 | .    |
| 17.0   | 13.9 | .    | 18.4 | 34.2  | 21.6  | 18.5  | 25.3             | 28.4 | 18.2 | .    | 16.5 | 17.8 | .    |
| 21.6   | 14.2 | 13.1 | .    | 24.1  | 17.8  | .     | .                | 32.6 | .    | 17.1 | .    | .    | .    |
| 18.2   | 15.8 | 32.1 | 21.9 | .     | 18.9  | 16.8  | 12.8             | 24.6 | 22.7 | 18.6 | 15.5 | 17.5 | .    |
| 22.1   | .    | 28.7 | 15.0 | 17.9  | .     | 17.2  | 17.9             | 32.3 | 14.8 | 18.7 | 16.3 | 13.5 | .    |
| .      | 20.0 | .    | 14.2 | 22.0  | 13.6  | 15.1  | 20.4             | .    | 19.4 | 18.9 | 17.9 | 17.6 | .    |
| 24.0   | 25.0 | 24.2 | (90) | 16.4  | 15.8  | 16.0  | .                | 27.8 | 16.7 | .    | 15.6 | 16.4 | .    |
| 23.1   | 22.4 | 16.9 | .    | 18.1  | .     | .     | 26.5             | 28.2 | .    | 17.0 | .    | 16.6 | .    |
| .      | .    | 16.7 | 14.4 | 35.8  | 20.0  | 15.5  | 25.3             | .    | 17.8 | 15.6 | 18.6 | .    | .    |
| 27.4   | 21.5 | (80) | 18.0 | 20.4  | .     | 14.9  | 23.8             | 25.4 | 20.2 | 20.7 | 15.0 | 14.9 | .    |
| 10.0   | 20.3 | .    | .    | 21.5  | 22.2  | 17.1  | .                | 23.7 | 15.5 | .    | 17.1 | 16.0 | .    |
| 17.5   | 19.6 | 19.0 | 19.5 | .     | 22.7  | .     | 21.6             | .    | .    | 16.8 | 15.4 | 16.0 | .    |
| (60)   | (70) | 19.5 | 19.3 | 20.2  | .     | .     | 20.2             | 23.6 | 18.9 | 18.6 | .    | 19.6 | .    |
| 17.4   | 17.5 | 16.5 | 19.7 | 24.0  | 29.9  | (149) | 21.4             | 20.9 | 13.5 | 18.1 | 15.4 | .    | .    |
| 17.2   | 15.1 | 12.2 | 31.5 | 19.1  | 21.3  | .     | .                | 23.5 | 18.7 | 16.6 | 15.7 | 16.6 | .    |
| 17.9   | .    | 18.2 | .    | 23.2  | .     | (150) | 20.1             | .    | .    | .    | 17.8 | 13.8 | .    |
| 19.7   | .    | 24.3 | 16.7 | .     | 21.7  | .     | 18.3             | 22.8 | 17.0 | 19.9 | .    | 15.7 | .    |
| .      | 21.2 | .    | 19.2 | 22.1  | 25.2  | 17.5  | 11.4             | 19.6 | 17.0 | 15.1 | 13.6 | 17.9 | .    |
| 15.9   | 16.1 | 19.8 | 14.1 | 19.1  | .     | 18.2  | .                | 20.8 | 18.8 | 15.6 | 14.0 | .    | .    |
| 16.6   | 14.7 | 18.0 | 18.5 | 20.3  | 12.6  | 14.3  | 19.1             | (50) | 16.6 | .    | 18.1 | 13.6 | .    |
| 20.8   | 20.7 | 16.3 | .    | .     | 23.0  | .     | 19.4             | (60) | 13.7 | 15.6 | 16.8 | .    | .    |
| .      | .    | .    | 20.2 | 18.9  | 25.7  | 15.7  | 28.9             | 20.1 | 19.9 | .    | 21.2 | .    | .    |
| 19.4   | 11.7 | 16.2 | 17.5 | 26.1  | .     | 16.5  | .                | 20.3 | 18.7 | 17.7 | 13.5 | .    | .    |
|        |      |      |      |       |       |       | 26.9             | 20.6 | 19.0 |      | 15.3 | 12.7 |      |

(次頁へ續く)



第Ⅰ表 (續 き)

| No. 51 E-W Comp. |       |       |       |       |      | No. 51 N-S Comp. |      |      |      |      |      |      |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 16.5             | 24.4  | 19.6  | 18.9  | .     | 17.3 | (30)             | 20.5 | .    | 23.8 | 19.9 | .    | 18.3 | .     |
| 14.5             | 17.3  | 21.9  | 19.8  | 18.7  | 12.9 |                  | 16.4 | 0.7  | .    | 17.6 | 14.7 | 8.2  | 17.7  |
| 17.2             | 16.0  | .     | 14.5  | 13.9  | 17.2 |                  | 6.7  | 19.1 | 16.0 | 18.7 | 15.2 | 19.2 | 18.1  |
| .                | .     | 20.5  | 8.4   | 14.4  | .    |                  | 4.7  | .    | 25.0 | 14.1 | 19.0 | 19.3 | .     |
| 17.0             | 26.7  | 20.5  | .     | .     | 10.0 |                  | 2.8  | 10.1 | 29.9 | 19.7 | .    | 5.3  | .     |
| 18.6             | 23.1  | 15.0  | 16.6  | 14.7  |      |                  | 9.6  | 10.1 | .    | .    | 18.7 | 19.8 | 19.0  |
| 15.5             | .     | (110) | 19.1  | 17.4  |      |                  | 6.1  | 9.1  | 25.4 | 20.6 | 16.0 | 14.2 | 16.5  |
| .                | 25.0  |       | 20.5  | 17.6  |      |                  | 9.8  | 16.6 | 27.7 | 19.9 | 16.3 | 17.7 | 13.2  |
| 19.9             | 24.4  | 16.5  | (120) | 13.6  |      |                  | 8.2  | .    | .    | 21.7 | .    | 7.1  | 19.1  |
| 17.3             | 21.0  | 21.9  | (130) |       |      |                  | 11.0 | 13.5 | 27.3 | .    | 18.3 | .    | 0.9   |
| 17.8             | (100) | 20.1  | 18.6  |       |      |                  | 9.9  | 20.3 | 18.9 | 17.9 | 16.3 | 20.2 | 17.1  |
| 20.1             |       | .     | 18.6  | 13.7  |      |                  | .    | 11.1 | 21.5 | 16.7 | 15.6 | 19.2 | 15.2  |
| (90)             | 24.9  | 21.4  | 15.9  | 16.7  |      |                  | 7.9  | 15.2 | .    | 18.9 | 17.6 | 11.7 | 17.5  |
|                  | 23.1  | 19.6  | 17.7  | 19.5  |      |                  | 18.6 | .    | 15.2 | .    | .    | .    | .     |
| 12.9             | .     | 18.9  | .     | .     |      |                  | 10.9 | 14.7 | 20.7 | 0.8  | 21.2 | 13.9 | 17.2  |
| 18.0             | 19.2  | .     | 13.3  | 19.5  |      |                  | 4.1  | 10.1 | 21.8 | 18.2 | 1.8  | 20.9 | 19.1  |
| 19.3             | 25.0  | 20.3  | 15.6  | 15.9  |      |                  | 7.0  | 10.4 | 24.4 | 19.5 | 14.8 | 19.3 | 19.1  |
| .                | 19.7  | 17.5  | 18.1  | 14.4  |      |                  | 11.6 | 15.5 | .    | 15.9 | 19.4 | .    | 21.4  |
| 18.1             | .     | 21.4  | 18.2  | 14.5  |      |                  | .    | 16.7 | 17.0 | 18.1 | 20.0 | 19.0 | 15.5  |
| 10.9             | 28.2  | .     | .     | .     |      |                  | 11.2 | (40) | 19.5 | .    | .    | 18.3 | 12.4  |
| 23.5             | 21.2  | 19.6  | 16.7  | 19.4  |      |                  | 12.7 |      | 21.6 | 20.2 | 15.5 | 16.7 | 17.6  |
| 16.0             | 26.4  | 21.9  | 15.2  | 17.2  |      |                  | 18.9 | 16.5 | (50) | 17.2 | 13.2 | 18.3 | 20.8  |
| .                | .     | 27.5  | 14.1  | 12.5  |      |                  | 14.2 | 17.5 |      | 17.8 | 19.1 | .    | 22.0  |
| 22.1             | 21.3  | .     | .     | 15.0  |      |                  | .    | 23.1 | 19.0 | (60) | 19.8 | 19.4 | 22.1  |
| 23.2             | 21.5  | 15.7  | 28.3  | .     |      |                  | 10.8 | .    | 18.4 | (70) | 18.9 | 14.9 | 16.4  |
| 14.5             | .     | 19.5  | 16.1  | 16.1  |      |                  | 8.5  | 17.0 | 19.3 | 18.9 | 16.2 | 16.4 | .     |
| .                | 15.3  | 19.2  | 15.0  | 20.6  |      |                  | 11.2 | 17.6 | .    | 17.4 | 19.9 | (80) | 18.0  |
| 22.3             | 20.8  | .     | 15.5  | 13.3  |      |                  | 8.0  | 19.6 | 22.6 | 15.5 | 17.6 | 10.8 | 21.3  |
| 26.9             | 25.6  | 8.2   | 17.0  | 15.4  |      |                  | 10.4 | .    | 19.9 | 22.3 | 18.9 | 17.7 | 17.2  |
| .                | .     | 18.0  | 15.5  | .     |      |                  | 17.1 | 18.6 | 30.6 | .    | .    | 21.9 | 24.1  |
| 15.8             | 24.2  | 17.8  | 17.7  | 14.6  |      |                  | .    | 15.4 | .    | 16.1 | 15.4 | 19.6 | 12.9  |
| 15.6             | 26.0  | 16.8  | 16.6  | 15.8  |      |                  | 19.5 | 16.4 | 13.4 | 18.5 | 16.2 | .    | 28.2  |
| .                | 26.8  | .     | .     | 16.8  |      |                  | 14.7 | 17.9 | 16.6 | 16.8 | 18.7 | 16.8 | (90)  |
| 20.5             | .     | 17.4  | 16.9  | .     |      |                  | 3.5  | .    | 23.6 | .    | .    | 12.0 | 8.4   |
| 17.7             | 22.7  | 15.2  | 15.4  | 14.2  |      |                  | 13.8 | 10.7 | .    | 13.3 | 17.0 | 19.6 | (100) |
| 13.1             | 21.0  | 13.0  | .     | 15.4  |      |                  | 21.1 | 21.4 | 9.8  | 17.5 | 17.8 | 18.4 | 19.9  |
| 17.0             | .     | .     | 13.7  | 17.8  |      |                  | .    | 18.4 | 22.9 | 27.8 | 18.7 | .    | 16.8  |
| .                | 20.3  | 13.0  | 17.7  | 13.9  |      |                  | 21.1 | 21.4 | 20.7 | .    | 16.6 | 15.5 | .     |
| 20.4             | 21.7  | 14.9  | .     | (140) |      |                  | 16.7 | .    | 22.6 | 19.2 | .    | 15.3 | 10.8  |
| 26.5             | 20.6  | 23.6  | 15.5  |       |      |                  | 15.3 | 19.4 | .    | 16.0 | 21.4 | 16.5 | 16.7  |
| 21.1             | .     | 18.6  | 21.4  | 16.6  |      |                  | .    | 15.2 | 18.8 | 18.1 | 14.0 | .    | 24.8  |
| .                | 20.8  | .     | 19.0  | .     |      |                  | 9.1  | 17.8 | 19.8 | .    | 14.3 | 19.9 | 22.0  |

(次頁へ續く)

第I表 (續 き)

| No. 51 N-S Comp. |       |       |      |       |        |       |       |      |      | No. 52 E-W Comp |      |      |      |
|------------------|-------|-------|------|-------|--------|-------|-------|------|------|-----------------|------|------|------|
| .                | 14.4  | 18.2  | 16.4 | (140) | 15.4   | .     | 14.9  | 16.5 | 19.0 | (30)            | 12.9 | 20.5 | 20.1 |
| 20.7             | 18.1  | 15.0  | 15.6 | 16.7  | 16.7   | 18.4  | 17.9  | 16.5 | 13.0 | 6.5             | 16.5 | 18.2 | 17.9 |
| 15.6             | .     | 18.5  | .    | 16.5  | 14.6   | 14.0  | .     | 16.5 | 12.1 | 8.1             | 19.6 | 21.7 | 24.0 |
| 17.6             | 19.9  | 18.0  | 14.6 | 14.1  | .      | 19.1  | 15.8  | 12.7 | .    | 8.3             | .    | .    | (60) |
| .                | 18.2  | .     | 14.4 | 18.2  | .      | 16.0  | .     | 12.0 | 8.3  | 15.8            | 16.9 | .    | .    |
| 23.9             | 17.7  | 14.6  | 16.3 | 13.8  | 15.6   | 18.9  | 16.4  | 11.2 | 17.0 | 8.1             | 16.1 | 12.7 | 24.4 |
| 24.1             | 17.6  | 15.7  | 17.3 | .     | 17.0   | 17.8  | 13.3  | 11.2 | 18.0 | 8.7             | 16.8 | 12.4 | 18.0 |
| .                | .     | 15.9  | .    | 15.5  | (15.0) | 13.1  | .     | .    | 12.0 | 20.9            | 11.7 | 10.1 | 17.4 |
| 2.4              | 18.0  | .     | 16.4 | 15.1  | 13.0   | 19.1  | 16.2  | .    | .    | (40)            | (50) | .    | .    |
| 20.5             | 17.6  | 0.6   | 16.2 | 18.0  | 17.9   | .     | 18.7  | 13.3 | 24.6 | 14.5            | 35.1 | 21.4 | 21.0 |
| 22.7             | 17.7  | 15.9  | 17.8 | 15.5  | 16.0   | 15.1  | 12.0  | 16.2 | 28.2 | 13.9            | 38.5 | 17.0 | .    |
| 17.5             | .     | 14.1  | .    | .     | 16.0   | 18.9  | 17.9  | 14.9 | 27.2 | 27.4            | .    | .    | .    |
| .                | 17.5  | 14.7  | 16.2 | 10.5  | 15.8   | 17.0  | .     | .    | 7.5  | .               | 15.4 | 22.4 | .    |
| 30.3             | 16.7  | 17.9  | 21.2 | 14.7  | .      | 16.8  | 13.5  | 16.1 | 16.9 | 26.1            | 26.5 | 20.1 | .    |
| 19.2             | 15.1  | .     | 17.9 | 16.8  | 15.7   | (160) | 18.0  | 17.1 | 7.7  | 19.4            | .    | 19.2 | .    |
| .                | 14.7  | 15.8  | 18.7 | 16.9  | 19.1   | 16.9  | 16.2  | .    | 9.1  | 21.3            | 29.3 | .    | .    |
| 20.3             | .     | 15.6  | .    | .     | 15.9   | 16.8  | 16.3  | .    | .    | .               | 20.2 | 20.5 | .    |
| 26.7             | 17.5  | 16.8  | 18.8 | 16.0  | 15.0   | 14.3  | (170) | .    | 11.1 | 28.7            | 22.0 | 16.8 | .    |
| 22.9             | 18.1  | 17.0  | 15.4 | 13.8  | .      | 16.2  | (180) | .    | 7.2  | 19.5            | .    | 18.1 | .    |
| .                | 18.0  | .     | 15.4 | 14.5  | 17.1   | .     | 16.0  | .    | 12.2 | 13.7            | 26.4 | .    | .    |
| 21.3             | .     | 13.9  | 15.5 | 16.2  | 15.6   | 14.9  | 16.0  | .    | 17.1 | .               | 23.0 | 14.4 | .    |
| 21.1             | 17.3  | 14.8  | .    | .     | 16.6   | 18.9  | 14.9  | 15.5 | 14.7 | 18.4            | .    | 21.4 | .    |
| 20.3             | 16.9  | 18.0  | 14.7 | 15.8  | .      | 16.7  | 15.7  | 18.0 | .    | 13.8            | 19.7 | 16.9 | .    |
| .                | 17.6  | 21.0  | 14.2 | 16.2  | 17.8   | 15.6  | .     | 16.0 | 12.4 | 15.4            | 20.5 | 16.3 | .    |
| 18.1             | 17.0  | .     | 14.7 | 16.6  | 15.8   | .     | 17.7  | 14.8 | 7.5  | .               | 21.9 | .    | .    |
| 19.4             | .     | 16.3  | 17.2 | 18.3  | 17.8   | 17.2  | 19.4  | .    | 15.1 | 18.5            | .    | 18.0 | .    |
| 24.0             | 15.6  | 16.7  | .    | .     | 16.5   | 19.9  | 16.8  | 15.8 | 10.2 | 17.4            | 21.2 | 21.2 | .    |
| .                | 14.9  | 15.7  | 16.1 | 10.7  | .      | 12.8  | .     | 14.0 | 12.1 | 24.1            | 18.9 | 16.0 | .    |
| 20.7             | 17.6  | .     | 17.4 | 17.1  | 14.1   | .     | 19.0  | 15.1 | .    | .               | 20.4 | .    | .    |
| 21.4             | (120) | 17.1  | 15.2 | 19.2  | 14.1   | 17.8  | 15.5  | 15.3 | 18.5 | 24.2            | .    | 16.7 | .    |
| (110)            | 15.8  | .     | 15.5 | 15.2  | 15.2   | 17.9  | .     | .    | 18.8 | 22.3            | 20.0 | 21.9 | .    |
| 14.1             | 16.9  | 17.0  | .    | 14.8  | 13.7   | 16.6  | 16.1  | .    | 21.6 | 17.2            | 21.6 | 17.5 | .    |
| 19.9             | 16.0  | 15.7  | 16.1 | 18.0  | .      | 17.9  | .     | 15.9 | .    | 16.1            | 21.8 | .    | .    |
| 19.0             | 15.6  | .     | 15.8 | 17.2  | 15.0   | .     | 18.3  | 16.5 | 27.8 | .               | .    | 14.5 | .    |
| 16.5             | 16.2  | 11.7  | .    | 20.1  | 16.6   | 18.9  | 17.0  | 18.7 | 16.1 | 30.7            | 26.0 | 23.6 | .    |
| .                | .     | 18.1  | 18.8 | 12.1  | 16.4   | 14.3  | 20.0  | .    | 17.3 | 15.1            | 23.2 | 16.4 | .    |
| 18.8             | 15.4  | 19.8  | 20.0 | .     | 18.0   | 10.0  | .     | 14.4 | .    | 24.5            | 19.9 | 16.5 | .    |
| 18.4             | 14.3  | 17.9  | 19.5 | 18.7  | .      | .     | 20.2  | 15.6 | 16.6 | .               | .    | .    | .    |
| 17.9             | 16.7  | (130) | .    | 16.1  | 16.4   | 15.4  | 16.2  | 14.4 | 27.2 | 27.1            | 21.2 | 21.1 | .    |
| 15.9             | 16.0  | 20.1  | 14.0 | 15.5  | 14.3   | 14.2  | 14.3  | .    | 25.5 | 27.1            | 23.3 | 16.1 | .    |
| .                | .     | 17.1  | 17.8 | .     | 13.8   | 17.0  | .     | .    | .    | .               | .    | 21.2 | .    |
| 16.9             | 14.5  | 14.4  | 18.0 | 13.9  | 14.2   | .     | 2.2   | 15.4 | .    | .               | .    | .    | .    |

(次頁へ續く)



第Ⅰ表 (續 き)

| No. 52 E-W Comp. |      |      |       |       |       |       |       |      |      | No. 52 N-S Comp. |      |      |      |  |
|------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------------------|------|------|------|--|
| .                | 15.9 | 18.8 | 16.1  | 14.4  | 13.8  | 15.8  | .     | 18.0 | (30) | .                | 24.7 | 25.5 | 17.5 |  |
| 13.6             | 17.8 | 19.9 | 15.6  | .     | 14.3  | 16.7  | 14.0  | 14.1 |      | 10.1             | .    | 24.3 | 18.1 |  |
| 21.1             | 19.4 | .    | 19.9  | 13.9  | 17.2  | 18.1  | 15.9  | 18.5 | 10.1 | 9.7              | 7.2  | .    | .    |  |
| 16.1             | 17.1 | 29.2 | .     | 18.2  | .     | .     | 14.3  | .    | 12.7 | 7.4              | 15.9 | 19.9 | 17.8 |  |
| (70)             | .    | 16.5 | 21.5  | 17.2  | 16.6  | 14.5  | .     | 15.1 | 12.1 | 8.2              | 14.1 | 33.8 | 16.7 |  |
|                  | 18.1 | .    | 18.8  | 15.5  | 12.5  | 16.2  | 17.5  | 16.3 | 10.2 | 11.7             | 16.0 | .    | 20.1 |  |
| 18.7             | 16.1 | 20.7 | 12.6  | .     | 17.8  | 14.3  | 17.5  | 15.3 | .    | 13.4             | .    | 26.5 | .    |  |
| 17.9             | 10.6 | 14.9 | (100) | 11.0  | 16.3  | 19.4  | 13.1  | 16.8 | 9.4  | .                | 15.8 | 19.3 | 20.1 |  |
| 15.6             | 23.8 | 14.9 |       | 13.4  | .     | .     | 13.5  | .    | 9.4  | 14.6             | 18.0 | 17.6 | 19.3 |  |
| 16.5             | (80) | 12.1 | 19.0  | 21.1  | 19.2  | 16.7  | .     | 16.3 | 8.0  | 12.0             | 17.3 | .    | 14.3 |  |
| .                |      | (90) | 19.3  | 13.7  | 18.6  | 17.0  | 15.7  | 13.4 | 6.8  | 9.0              | .    | 23.1 | .    |  |
| 13.3             | 12.2 |      | 14.6  | (110) | 17.4  | 15.5  | 17.3  | 14.9 | 8.8  | 15.0             | 11.4 | 39.5 | 16.4 |  |
| 19.6             | 18.6 | 16.6 | .     |       | .     | .     | 15.7  | 17.3 | 9.3  | 15.8             | 7.9  | .    | 18.7 |  |
| 20.9             | 17.6 | 22.0 | 18.9  | 12.1  | 17.6  | 14.8  | 15.8  | .    | 14.1 | .                | 12.8 | 25.5 | 19.4 |  |
| .                | .    | 11.7 | 23.3  | 19.1  | 13.2  | 16.9  | .     | 13.9 | .    | 12.9             | 12.2 | 18.8 | 18.7 |  |
| 16.4             | 19.0 | 14.9 | .     | 14.1  | 16.5  | .     | 18.1  | 16.6 | 7.6  | 10.7             | 14.7 | 23.1 | .    |  |
| 19.6             | 16.2 | .    | 18.9  | 14.4  |       | 13.9  | 15.9  | 17.7 | 14.4 | 9.6              | .    | .    | 18.9 |  |
| 14.5             | 11.8 | 20.7 | 17.3  | .     | (120) | 13.7  | 14.2  | .    | 13.3 | 11.8             | 11.8 | 18.2 | 19.6 |  |
| 17.0             | 17.6 | 26.6 | 16.6  | 18.3  | 18.2  | 17.6  | .     | 14.0 | 10.4 | 7.3              | 9.8  | 36.8 | 14.1 |  |
| .                | .    | 18.5 | 16.1  | 16.4  | 17.2  | 19.3  | 14.5  | 14.8 | 13.4 | (40)             | 10.2 | (60) | (70) |  |
| 16.5             | 16.4 | .    | .     | 14.6  | 16.3  | (130) | 18.1  | 17.3 | .    | 8.6              |      |      |      |  |
| 21.0             | 17.3 | 14.4 | 15.7  | 16.7  | 17.6  |       | 15.8  | 17.9 | 9.0  | 14.4             | .    | 31.9 | 10.8 |  |
| 16.4             | 14.1 | 17.0 | 14.4  | .     | .     | 14.1  | 16.4  | .    | 12.8 | 17.3             | 18.0 | 17.6 | 17.7 |  |
| .                | .    | 25.0 | 15.7  | 15.3  | 18.2  | 15.4  | (140) | 20.7 | 11.5 | 28.1             | 21.0 | .    | 18.2 |  |
| 18.9             | 20.7 | .    | .     | 14.1  | 15.1  | 16.0  |       | 32.9 | 10.9 | .                | (50) | 32.4 | .    |  |
| 15.6             | 14.1 | 12.8 | 16.5  | 15.3  | 14.4  | .     | 17.5  |      | 13.9 | 13.3             |      | 24.4 | 18.2 |  |
| 19.7             | 15.9 | 19.3 | 14.8  | 17.7  | 16.8  | 15.0  | 14.5  |      | .    | 8.8              | 7.9  | 23.4 | 15.9 |  |
| 19.9             | 17.1 | 27.0 | 12.8  | .     | .     | 15.7  | 17.8  |      | 22.9 | 14.8             | 11.5 | .    | 20.1 |  |
| .                | .    | .    | 18.2  | 15.4  | 17.1  | 15.9  | 7.1   |      | 19.2 | 9.9              | 18.8 | 14.1 | 18.2 |  |
| 16.0             | 10.5 | 28.0 | .     | 20.2  | 15.6  | 19.3  | .     |      | 13.7 | 25.8             | .    | 20.1 | .    |  |
| 14.6             | 20.0 | 20.1 | 16.8  | 18.3  | 14.7  | .     | 15.2  |      | .    | .                | 10.8 | 19.7 | 16.9 |  |
| 15.5             | 15.7 | .    | 15.2  | .     | .     | 17.9  | 16.0  |      | 9.0  | 13.0             | 10.4 | 17.6 | 18.0 |  |
| .                | 16.2 | 23.5 | 15.0  | 18.6  | 14.6  | 20.2  | .     |      | 9.3  | 18.6             | 22.2 | .    | 18.0 |  |
| 14.8             | .    | 24.0 | 14.8  | 14.5  | 18.8  | 16.4  | 17.9  |      | 16.3 | 7.7              | 26.9 | 16.7 | 36.9 |  |
| 16.4             | 19.8 | 16.0 | .     | 18.2  | 15.1  | 17.6  | 15.2  |      | 9.1  | 12.6             | .    | 25.6 | .    |  |
| 19.3             | 30.3 | 18.2 | 18.8  | .     | 18.6  | 17.2  | 13.6  |      | 8.8  | .                | 26.3 | 21.6 | 18.2 |  |
| 17.5             | .    | .    | 14.7  | 16.9  | .     | 16.7  | 15.5  |      | 10.8 | 9.6              | 25.0 | .    | 20.8 |  |
| .                | 31.7 | 18.4 | 17.8  | 13.9  | 17.7  | 15.3  | .     |      | .    | 14.4             | .    | 20.8 | 18.6 |  |
| 18.8             | 18.5 | 22.2 | 20.1  | 13.6  | 15.2  | .     | 21.9  |      | 6.8  | 11.6             | 24.0 | 19.0 | .    |  |
| 15.6             | 14.5 | 14.4 | .     | 17.8  | 15.0  | 17.5  | 17.4  |      | 15.8 | .                | 24.3 | 20.0 | 15.9 |  |
| 14.8             | .    | .    | 18.3  | .     | .     | 15.7  | 22.2  |      | 7.9  | 11.6             | 22.1 | .    | 12.6 |  |
| .                | 31.2 | 19.2 | 14.0  | 15.5  | 14.5  | 16.4  | .     |      | 10.0 | 17.6             | .    | 18.7 | 21.2 |  |

(次頁へ續く)

第Ⅰ表 (續 き)

| No. 52 N-S Comp. |      |       |       |       |       |      | No. 53 |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 17.0             | 16.1 | .     | 15.9  | 17.8  | 15.5  | 17.0 | (30)   | .    | .    | 11.3 | 12.5 | 29.3 | 21.9 |
| .                | 16.7 | 25.4  | .     | .     | 15.7  | 14.3 |        | 7.6  | 19.1 | 10.1 | 8.9  | .    | 16.9 |
| 17.9             | .    | 22.6  | 19.4  | 20.6  | 15.8  | 15.3 | 16.0   | 10.4 | 12.2 | (50) | 9.3  | 27.3 | 16.9 |
| 16.7             | 19.4 | .     | 15.5  | 16.4  | .     | .    | 10.8   | 10.8 | 10.8 |      | 10.9 | 22.0 | .    |
| 18.3             | 19.6 | 20.9  | 13.5  | 13.3  | 8.8   | .    | 12.2   | 13.4 | 18.6 | 5.9  | .    | .    | 16.2 |
| .                | 13.9 | 20.5  | .     | .     | 21.8  | 15.2 | 11.4   | 10.4 | .    | 8.4  | 11.7 | 22.4 | 20.2 |
| 19.2             | .    | 24.4  | 23.7  | 16.8  | 14.9  | 16.7 | 11.4   | 7.7  | 20.2 | 10.8 | 20.0 | 26.7 | 21.4 |
| 13.6             | 32.0 | .     | 19.9  | 19.7  | 17.5  | 16.4 | 7.6    | .    | 21.1 | 12.1 | .    | 25.3 | .    |
| 15.6             | 19.8 | 18.2  | 17.2  | 18.6  | .     | .    | 7.1    | 8.3  | 13.2 | 7.7  | 6.8  | .    | 18.5 |
| 16.1             | 26.3 | 18.2  | .     | 18.3  | 21.8  | 17.9 | .      | 7.3  | .    | 17.2 | 7.3  | 27.5 | 18.5 |
| .                | .    | 24.1  | 12.1  | .     | 16.9  | 19.4 | 12.5   | 10.3 | 12.3 | .    | 8.7  | 13.0 | .    |
| 17.0             | 23.1 | .     | 16.2  | 19.1  | 17.7  | 14.3 | 13.0   | 10.1 | 8.0  | 13.2 | 9.4  | 17.7 | 21.3 |
| 12.6             | 28.1 | 19.7  | 16.0  | 11.8  | .     | 16.3 | 11.2   | 11.3 | .    | 12.0 | .    | .    | 13.9 |
| 15.0             | .    | 16.4  | .     | 12.8  | 13.5  | .    | 10.8   | 17.6 | 13.3 | 13.7 | 29.8 | 25.0 | (80) |
| 15.3             | 24.2 | 18.3  | 16.7  | 12.5  | 15.8  | 16.7 | 5.3    | .    | 9.4  | 11.1 | 11.7 | 26.6 |      |
| .                | 22.9 | .     | 17.2  | .     | 15.4  | 15.2 | 10.8   | 0.8  | 10.4 | 17.6 | 15.5 | (70) | 16.5 |
| 17.6             | .    | 21.4  | 14.8  | 17.7  | 15.0  | 17.4 | .      | 12.0 | 7.4  | .    | 17.8 |      | 14.3 |
| 16.5             | 25.1 | 17.6  | 16.6  | 19.7  | .     | 2.4  | 9.1    | 8.3  | 11.1 | 10.9 | (60) | 27.8 | 17.7 |
| 20.1             | 25.3 | 24.3  | .     | 17.0  | 18.1  |      | 7.3    | 7.3  | 11.7 | 10.5 |      | 21.1 | 19.8 |
| .                | 25.0 | .     | 15.1  | .     | 17.1  |      | 7.4    | 12.5 | .    | 8.8  | 16.5 | 20.0 | .    |
| 17.0             | .    | 4.4   | 15.3  | 17.5  | 14.1  |      | 9.4    | 12.3 | 9.8  | 11.3 | 10.7 | .    | 18.8 |
| 19.4             | 15.9 | 15.6  | 17.3  | 16.3  | 14.6  |      | 7.8    | 16.9 | 10.3 | 10.0 | 9.5  | 18.5 | 18.6 |
| 11.7             | 16.3 | 14.1  | 20.2  | 15.4  | .     |      | 6.1    | .    | 11.2 | 13.1 | 10.2 | 20.6 | 19.1 |
| 13.0             | 16.4 | 20.1  | .     | 10.8  | 11.3  |      | 12.0   | 11.1 | 8.4  | .    | .    | 21.6 | .    |
| (80)             | (90) | (100) | 10.4  | .     | .     |      | .      | 9.6  | 14.3 | 6.0  | 25.2 | .    |      |
|                  |      |       | 18.2  | 10.4  | 15.0  |      | 8.6    | 8.7  | .    | 14.8 | 11.2 | 20.8 | 18.3 |
| 17.4             | 10.4 | 19.3  | 16.9  | 14.6  | 17.8  |      | 8.3    | 10.2 | 8.5  | 12.4 | 17.4 | 16.1 | 16.3 |
| 18.1             | 21.7 | 18.9  | (110) | 16.0  | .     |      | 9.6    | 10.0 | 6.3  | .    | .    | 15.8 | 17.7 |
| 19.6             | 19.3 | 21.6  |       | 17.4  | 17.1  |      | 5.7    | 8.4  | 13.9 | 11.8 | 26.7 | .    | .    |
| .                | 15.7 | .     | 15.3  | .     | 16.7  |      | 7.5    | (40) | 7.4  | 13.4 | 18.1 | 19.6 | 16.1 |
| 17.8             | .    | 17.2  | 13.9  | 13.8  | .     |      | 7.5    | .    | .    | 13.8 | 15.4 | 19.4 | 19.0 |
| 16.9             | 12.0 | 18.8  | 18.6  | 17.3  | 17.8  |      | 7.8    | 9.1  | 11.6 | 12.6 | .    | 19.5 | 17.9 |
| 16.5             | 19.5 | 17.0  | 16.8  | 15.1  | 17.8  |      | .      | 12.5 | 10.0 | .    | 11.5 | .    | .    |
| 9.7              | 19.8 | 18.1  | .     | 13.9  | 17.8  |      | 22.7   | 13.7 | 7.4  | 11.1 | 20.4 | 19.7 | 16.1 |
| .                | .    | .     | 15.7  | (120) | 17.3  |      | 11.8   | 13.2 | 5.0  | 8.5  | 16.5 | 20.4 | 18.5 |
| 18.4             | 22.8 | 18.4  | 16.5  |       | (130) |      | 18.3   | 10.5 | 4.4  | 9.6  | 29.0 | 17.0 | 13.7 |
| 20.2             | 25.7 | 21.1  | 16.2  | 17.0  |       |      | 19.1   | .    | 8.1  | 10.0 | .    | .    | 22.0 |
| 10.7             | 12.4 | 21.2  | 12.9  | 14.3  | 18.2  |      | .      | 11.6 | 8.8  | 7.7  | 15.8 | 20.6 | .    |
| .                | .    | .     | .     | 15.2  | 17.3  |      | 13.2   | 11.3 | .    | 10.9 | 15.6 | 19.5 | 15.6 |
| 12.5             | 14.7 | 16.5  | 14.4  | 16.6  | 18.5  |      | 11.5   | 11.1 | 8.2  | 14.3 | 30.1 | 12.5 | 21.0 |
| 19.7             | 25.6 | 8.9   | 17.7  | .     | .     |      | 12.0   | 12.1 | 10.7 | .    | .    | 17.6 | 14.1 |
| 13.5             | 21.5 | 16.6  | 11.2  | 12.6  | 17.6  |      | 11.9   | 10.5 | 11.9 | 10.8 | 15.6 | .    | 19.5 |

(次頁へ續く)



第Ⅱ表 (續 き)

No. 53

|      |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| .    | 15.6  | .     | .     | 15.3  | 18.1  |
| 12.7 | 19.8  | 17.0  | 20.7  | 20.1  | 17.6  |
| 18.5 | 14.3  | 12.5  | 17.4  | .     | .     |
| 18.2 | .     | 16.4  | 17.3  | 13.1  | (155) |
| .    | 6.0   | 16.8  | .     | 13.7  | .     |
| 17.8 | 9.3   | .     | 16.6  | 20.6  | 14.0  |
| 19.4 | 14.3  | 13.9  | 14.5  | .     | .     |
| 14.1 | 20.2  | 15.1  | .     | .     | 12.8  |
| 18.7 | .     | 16.8  | 16.3  | 16.7  | 13.9  |
| .    | 16.3  | 16.0  | 17.9  | 13.3  | 15.4  |
| 17.3 | 17.7  | .     | 17.9  | 16.0  | 16.8  |
| 18.1 | 20.2  | 15.1  | 19.0  | (130) | .     |
| 16.9 | .     | 17.6  | .     | .     | 15.6  |
| .    | 16.1  | 17.8  | 17.4  | 14.9  | 16.1  |
| 16.3 | 11.1  | .     | 17.6  | 15.1  | 14.4  |
| 17.5 | 19.8  | 16.9  | 16.5  | 16.3  | 15.5  |
| 15.9 | 25.4  | 16.7  | .     | 20.4  | .     |
| 19.8 | .     | 14.9  | 13.4  | .     | 14.5  |
| (90) | 21.0  | 16.3  | 16.1  | 14.7  | 16.2  |
| .    | 30.6  | .     | 15.6  | 16.0  | 14.1  |
| 14.1 | (100) | 13.0  | 16.6  | 16.0  | 17.1  |
| 25.1 | .     | 12.8  | (120) | 16.5  | .     |
| 21.7 | 11.7  | 18.3  | .     | .     | 14.8  |
| .    | 17.2  | (110) | 17.9  | 15.7  | 15.2  |
| 16.2 | 25.0  | .     | 15.4  | 12.5  | 20.8  |
| 17.1 | .     | 16.2  | 16.0  | 17.2  | .     |
| 15.8 | 21.7  | 14.3  | .     | 13.6  | .     |
| .    | 21.5  | 21.2  | 16.5  | .     | .     |
| 17.5 | 27.0  | .     | 15.9  | 11.4  | .     |
| 17.5 | .     | .     | .     | 14.2  | .     |
| 16.5 | 22.5  | 14.7  | .     | 15.0  | .     |
| .    | 20.7  | 16.5  | .     | 16.1  | .     |
| 24.0 | 14.7  | 14.8  | 19.3  | .     | .     |
| 12.3 | .     | .     | 17.5  | 13.0  | .     |
| 15.4 | 16.1  | 15.5  | 16.8  | 14.5  | .     |
| 18.5 | 17.8  | 16.7  | .     | 19.6  | .     |
| .    | 16.2  | 14.7  | 13.6  | .     | .     |
| 16.0 | .     | .     | 16.4  | 14.1  | .     |
| 13.5 | 16.1  | 14.5  | 16.3  | 13.9  | .     |
| 15.1 | 15.2  | 18.2  | .     | 16.8  | .     |
| 16.4 | 16.1  | 15.5  | 16.6  | .     | .     |
| .    | 17.0  | 19.6  | 14.8  | 15.2  | .     |

## 第 IV 表

Mean period of every one minutes.

Figures in brackets represent the number of minutes that have elapsed since the beginning of the *P* wave.

| No. 42             | No. 43              | No. 44                 | No. 45                 | No. 46              | No. 47              | No. 48                 |
|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| (9) 10.5<br>(12.1) | (41) 19.2<br>(17.4) | (47) 22.6<br>(40) 16.3 | 19.1 18.9<br>17.7 19.9 | (46) 18.1<br>(17.0) | (48) 15.7<br>(16.1) | (76) 22.9<br>(30) 14.7 |
| 25.3 12.2          | 19.2 17.8           | 22.6 16.3              | 18.8 19.7              | 33.7 15.5           | 30.0 19.7           | 22.9 14.7              |
| 12.7 12.7          | 14.1 15.6           | 20.0 26.6              | 18.8 18.9              | 29.4 18.1           | 28.2 16.5           | 25.6 8.3               |
| 14.4 9.7           | 17.9 —              | 20.9 22.4              | 18.6 19.5              | 23.5 18.0           | (50) 19.9           | 18.5 17.3              |
| 12.8 9.8           | 19.0 —              | 23.6 24.2              | 19.0 17.9              | 26.2 18.2           | 20.2 22.2           | 15.1                   |
| 14.4 11.0          | 16.4 19.1           | 23.4 27.8              | 21.5 18.0              | (50) 17.7           | 22.8 17.6           | 25.8 18.4              |
| 12.9 (50)          | 21.4 —              | 19.3 37.2              | 17.6 18.7              | 17.5 27.3           | 19.7 14.3           | 19.6                   |
| 17.5 (50)          | 12.3 16.7           | 20.9 31.9              | 18.2 20.8              | 19.7 18.2           | 23.5 25.7           | 18.3 24.1              |
| 12.0 10.0          | 13.3 18.6           | 20.7 33.1              | 19.3                   | 18.4 18.0           | 21.7 22.7           | 23.7 17.8              |
| 9.6 12.9           | 24.9 16.4           | (50) 26.5              | 20.4                   | 21.4 17.8           | 17.9 16.7           | 23.7 22.2              |
| 19.5 11.4          | (50) 14.3           | (50) 27.1              | 17.7                   | 20.0 15.6           | 18.0 24.3           | 24.8 19.7              |
| 14.7 9.8           | (50)                | 23.8 (50)              | 18.1                   | 17.9 19.1           | 15.8 30.9           | 27.0 21.7              |
| 12.1 10.7          | 25.4                | 25.3 (50)              | —                      | 19.1 25.2           | 22.4 24.5           | 25.4 11.9              |
| 10.8 10.1          | 16.4                | 19.5 28.1              | 20.9                   | 20.3 16.2           | 24.8 21.2           | 22.6 7.7               |
| 9.4 9.7            | 20.2                | 21.3 25.0              | 17.7                   | 19.1 19.4           | 20.0 19.9           | 19.1 15.2              |
| 10.5 9.3           | 15.5                | 27.5 23.3              | 20.8                   | 17.3 18.4           | 18.5                | 17.5 18.0              |
| 10.3 10.8          | 17.8                | 25.9 20.2              | 19.7                   | 19.3 28.4           | 15.6                | 19.2 13.0              |
| 12.3 9.2           | 19.1                | 24.0 23.7              | 22.7                   | 17.7 22.9           | 17.6                | 17.2 15.8              |
| 14.3 9.2           | 18.0                | 16.2 21.5              | 24.1                   | 17.6                | 17.6                | 21.2 20.0              |
| 14.5 9.7           | 15.4                | 17.7 21.0              | 21.5                   | 18.2                | 18.5                | 17.2 16.5              |
| 16.3 11.3          | 16.5                | 17.4 21.2              | 18.7                   | 18.2                | 19.7                | 19.1 19.1              |
| 11.0 11.3          | 16.9                | 18.8 21.4              | 21.2                   | 17.6                | 16.3                | 19.9 (50)              |
| 13.3 9.0           | 17.8                | 17.5 25.1              | (95)                   | 16.5                | 18.2                | 19.1 (50)              |
| 14.6 9.0           | 17.0                | 16.0 25.4              | (95)                   | 18.6                | 16.2                | 19.0 20.3              |
| 12.2 8.7           | 16.3                | 17.8 26.1              | 21.9                   | 16.3                | 17.2                | 17.7 17.8              |
| 13.7 9.7           | 18.0                | 17.6 24.0              | (110)                  | 17.9                | 19.9                | (100) 21.5             |
| 12.0 9.6           | 17.0                | 17.5 16.2              | (110)                  | 18.5                | 19.3                | (100) 21.9             |
| 14.8               | 16.3                | 18.3 19.1              | 28.6                   | 19.1                | 19.6                | 18.5 22.5              |
| 12.0               | 18.8                | 15.1 24.4              |                        | 18.0                | 17.9                | 18.9 20.0              |
| 12.8               | 17.3                | 19.6 27.2              |                        | 17.4                | 18.7                | 18.6 24.8              |
| 15.3               | 17.1                | 20.0 24.9              |                        | 17.5                | 19.1                | 16.4 18.2              |
| 15.3               | 18.7                | 20.4 21.6              |                        | 16.8                | 18.8                | 17.3 19.3              |
| 13.8               | 17.8                | 19.2 21.2              |                        | 16.8                | 19.4                | 16.5 17.4              |
| 10.3               | 19.6                | 19.2 25.9              |                        | 18.7                | 19.6                | 18.7 17.3              |
| 12.7               | 18.1                | 18.6 19.5              |                        | 16.7                | 20.3                | 19.2 16.8              |

(次頁へ続く)



第IV表 (續 き)

| No. 49 |      |       | No. 50 |       |       | No. 51 E—W Comp. |       |       | No. 51 N—S Comp. |       |      |       |      |
|--------|------|-------|--------|-------|-------|------------------|-------|-------|------------------|-------|------|-------|------|
| 18.4   | 16.1 | —     | (30)   | 22.7  | 21.3  | (30)             | 17.3  | 20.8  | (30)             | 17.8  | 20.9 | (150) | (30) |
| 16.0   | 18.3 | 18.9  |        | 20.4  | 20.0  |                  | 17.5  | 19.0  |                  | 17.3  | 21.1 |       |      |
| 17.5   | 19.4 | —     | 16.2   | 16.4  | 17.8  | 22.9             | 16.4  | 19.8  | 8.7              | 18.8  | 21.4 | 16.1  | 12.5 |
| 17.2   | 21.0 | 17.4  | 11.1   | —     | 19.6  | 29.0             | 16.1  | 20.0  | 12.2             | 16.9  | 17.6 | 16.6  | 27.1 |
| 18.0   | 17.9 | —     | —      | 20.9  | 17.2  | 12.9             | 17.3  | 19.8  | 14.8             | 17.9  | 17.8 | 16.5  | 11.7 |
| 17.6   | 21.6 | —     | 13.9   | 18.1  | 22.5  | 21.0             | 15.6  | 23.5  | 11.8             | 17.9  | 16.6 | 16.5  | 13.3 |
| 19.0   | 15.9 | (150) | 12.2   | 16.6  | 24.7  | 17.3             | 16.3  | 18.3  | 17.1             | 18.0  | 18.4 | 14.5  | 12.0 |
| 17.1   | 17.2 |       | 15.6   | 17.9  | 23.6  | 24.5             | 16.6  | 16.3  | 18.0             | 16.3  | 17.7 | 16.6  | 19.9 |
| 16.7   | 16.4 | 16.3  | —      | 17.1  | 22.1  | 21.1             | 16.4  | 15.4  | 17.5             | 17.9  | 16.1 | 15.1  | 21.8 |
| 17.3   | 17.5 |       | 14.8   | 21.8  | 22.1  | 19.4             | 17.5  | 18.5  | 12.2             | 16.2  | 17.9 | 17.4  | 24.1 |
| 17.1   | 19.6 |       | 14.4   | 27.4  | 19.6  | 23.4             | 16.5  | 16.7  | 15.8             | 18.2  | 17.2 | 17.2  | 16.8 |
| 17.1   | 13.4 |       | 15.9   | 20.1  | —     | 29.0             | 16.5  | 17.8  | 14.0             | 17.2  | 16.1 | 17.1  | 15.4 |
| 17.8   | 18.9 |       | 16.5   | 19.3  | 18.2  | 27.2             | 16.2  | 17.7  | 19.5             | 19.9  | 15.6 | 15.7  | 20.3 |
| 16.4   | 18.6 |       | 19.3   | 18.9  | 17.7  | 17.6             | 16.9  | 16.6  | 18.1             | 17.2  | 15.7 | 16.9  | 22.7 |
| 16.0   | 26.4 |       | 18.5   | 18.1  | 17.8  | 21.4             | 16.7  | 15.4  | 17.2             | 15.8  | 17.2 | 17.1  | 22.5 |
| 16.4   | 22.5 |       | 16.7   | 16.3  | 16.3  | 16.5             | 16.0  | 15.6  | 28.6             | 17.5  | 15.4 | 16.3  | 20.4 |
| 16.9   | 24.2 |       | 17.2   | 17.6  | (124) | 27.6             | 17.7  | 16.7  | 17.6             | 16.4  | 15.6 | 15.3  | 20.4 |
| 16.7   | 27.8 |       | —      | 20.8  | (124) | 29.0             | 16.4  | 16.2  | 24.9             | 16.6  | 16.3 | 15.6  | 20.7 |
| 15.3   | 27.2 |       | 15.2   | —     | 15.9  | 28.0             | 17.7  | 15.9  | 26.6             | 19.5  | 17.4 | 16.5  | 25.2 |
| 17.9   | 20.6 |       | 15.0   | 17.7  | (150) | 22.1             | 15.4  | 18.1  | 23.1             | 17.6  | 16.3 | 15.5  | 27.1 |
| 16.7   | 21.0 |       | 21.2   | 20.4  | (150) | 22.8             | 17.9  | 16.0  | 21.1             | 18.3  | 16.4 | 17.2  | 20.3 |
| 15.8   | 31.2 |       | 22.8   | 17.7  | 16.8  | 21.0             | 18.5  | 16.0  | 19.5             | 17.8  | 17.4 | 16.3  | 13.5 |
| 16.3   | 38.7 |       | (50)   | 16.4  | 16.1  | (50)             | 17.2  | 16.9  | (50)             | 16.6  | 15.9 | 15.7  | (50) |
| 17.8   | 22.3 |       | 19.5   | —     | —     | (50)             | 18.3  | 16.3  | (50)             | 20.1  | 15.7 | 18.0  | —    |
| 17.4   | 21.0 |       | 20.9   | 26.0  | —     | 20.3             | 17.6  | 16.5  | 19.3             | 21.0  | 16.8 | 17.3  | 18.2 |
| 21.4   | 24.2 |       | 22.5   | 17.4  | —     | 19.3             | 24.8  | 17.0  | 25.2             | 16.7  | 18.7 | 18.5  | 22.4 |
| 17.5   | 24.5 |       | 20.5   | 18.4  | —     | 17.4             | 15.7  | (128) | 18.9             | 18.2  | 16.4 | 17.2  | 24.5 |
| 18.2   | 35.7 |       | 18.6   | 27.7  | —     | 21.2             | 17.5  | (128) | 20.5             | 17.0  | 15.3 | —     | 24.8 |
| 17.0   | 27.8 |       | 18.0   | 21.4  | —     | 18.1             | 23.0  | 15.8  | 20.7             | 22.4  | 16.0 | —     | 20.7 |
| 17.6   | 18.8 |       | 17.9   | 26.9  | —     | 19.6             | 19.9  | 16.2  | 17.8             | 20.0  | 16.3 | —     | 20.2 |
| 16.3   | 17.7 |       | 14.9   | 30.3  | —     | 18.8             | 25.0  | 16.6  | 20.8             | 23.3  | 19.4 | —     | 21.2 |
| 19.3   | 18.4 |       | 19.5   | 25.2  | —     | 18.0             | 23.6  | —     | 17.9             | 23.4  | 18.7 | —     | 23.3 |
| 15.2   | 22.7 |       | 23.8   | (100) | —     | 17.4             | (100) | 16.0  | 18.7             | (100) | 15.4 | —     | 22.3 |
| 17.9   | 19.6 |       | 21.1   | (100) | —     | 17.4             | (100) | —     | 18.5             | (100) | 16.1 | —     | 20.9 |
| 16.3   | 25.1 |       | 18.1   | 30.1  | —     | 17.8             | 24.0  | —     | 19.2             | 19.5  | 15.2 | —     | 20.4 |
| 16.2   | 19.9 |       | 18.0   | 19.1  | —     | 18.1             | 21.6  | —     | 17.2             | 25.4  | 15.2 | —     | 20.0 |
| 16.3   | 24.8 |       | 21.2   | 27.8  | —     | 15.4             | 25.6  | —     | 20.7             | 18.3  | 16.8 | —     | 20.7 |
| 16.8   | 17.0 |       | 24.5   | 22.2  | —     | 17.7             | 21.4  | —     | 17.9             | 24.0  | 16.3 | —     | 18.6 |
| (100)  | 16.5 |       | 21.4   | 22.3  | —     | 17.9             | 21.4  | —     | 18.1             | 19.8  | 17.4 | —     | 17.6 |
| (100)  | 16.9 |       | 22.8   | 20.6  | —     | 18.4             | 25.7  | —     | 17.1             | 26.0  | 16.4 | —     | 18.7 |
| 19.2   | 17.4 |       | 17.1   | 23.6  | —     | 18.0             | 21.9  | —     | 17.9             | 24.0  | 15.2 | —     | 17.9 |
| 19.0   | 20.3 |       | 16.9   | 22.3  | —     | 17.6             | 20.8  | —     | 21.2             | 20.9  | 17.5 | —     | 18.4 |

(次頁へ續く)

第IV表 (續 き)

| No. 52 E—W<br>Comp. |      |      | No. 52 N—S<br>Comp. |      |      | No. 53 |       |
|---------------------|------|------|---------------------|------|------|--------|-------|
| 19.8                | 16.4 | (30) | 18.4                | 17.2 | (30) | 21.3   | 16.4  |
| 17.5                | 15.7 |      | 17.9                | 15.9 |      | 25.9   | 15.1  |
| 17.3                | 15.4 | 11.7 | 17.6                | 16.5 | 12.1 | 23.5   | 17.8  |
| 18.6                | 16.6 | 10.0 | 18.1                | 15.6 | 11.3 | 20.3   | —     |
| 17.2                | 15.7 | 12.3 | 17.9                | 15.6 | 8.8  | 17.9   | 15.3  |
| 18.2                | 18.2 | 11.9 | 19.3                | 17.4 | 8.1  | 19.5   | 15.7  |
| 18.7                | 17.3 | 19.4 | 17.3                | 18.4 | 18.9 | 19.2   | 17.2  |
| 15.4                | 15.8 | 11.2 | 17.6                | 14.7 | 12.2 | 18.1   | 18.6  |
| 17.1                | 15.3 | 10.6 | 16.4                | 18.2 | 10.5 | 18.9   | 15.6  |
| 16.6                | 16.0 | 10.5 | 15.1                | 15.4 | 11.8 | 19.5   | 17.9  |
| 17.6                | 18.4 | 13.7 | 17.6                | 15.1 | 12.9 | 18.4   | 17.1  |
| 18.5                | 15.9 | 10.8 | 15.9                | 15.2 | 9.8  | 18.4   | 15.5  |
| 16.6                | 17.4 | 21.7 | 18.4                | 15.8 | 12.0 | 17.3   | 16.5  |
| 16.6                | 16.2 | 10.1 | 15.9                | 15.0 | 11.5 | 18.8   | 16.2  |
| 16.0                | 15.9 | 14.1 | 17.4                | 17.2 | 14.9 | 17.7   | —     |
| 17.3                | 17.0 | 12.4 | 16.1                | 19.0 | 18.9 | 17.4   | —     |
| 19.1                | 15.8 | 19.4 | 18.0                | 15.9 | 11.0 | 18.7   | 17.9  |
| 26.2                | 16.4 | 14.3 | 27.0                | 15.4 | 10.7 | 18.0   | 15.6  |
| 22.7                | 16.4 | 17.1 | 25.8                | 16.5 | 10.0 | 16.8   | 17.0  |
| 24.7                | 16.4 | 12.2 | 23.6                | 16.9 | 10.1 | 17.7   | 16.5  |
| 24.6                | 15.9 | 10.2 | 25.1                | 17.7 | 8.6  | 17.4   | —     |
| 16.2                | 16.0 | 19.6 | 16.2                | 18.0 | 10.7 | 17.5   | 15.5  |
| 17.1                | 15.2 | (50) | 17.9                | 18.0 | (50) | 21.4   | 17.0  |
| 22.4                | 16.6 |      | 17.9                | 16.2 |      | 16.3   | 15.8  |
| 19.9                | 18.3 | 14.7 | 21.9                | —    | 11.6 | 17.1   | 15.0  |
| 21.4                | 16.7 | 20.5 | 21.6                | 16.1 | 13.9 | 18.7   | 14.3  |
| 24.7                | 16.5 | 25.7 | 24.1                | 17.2 | 10.5 | 15.4   | 16.2  |
| 21.0                | 14.8 | 23.5 | 20.7                | 15.8 | 12.3 | 16.9   | 15.1  |
| 21.0                | 15.7 | 24.9 | 20.7                |      | 11.8 | 16.0   | 16.9  |
| 17.8                | 16.3 | 28.6 | 18.2                |      | 12.4 | 18.2   | (187) |
| 17.9                | 16.2 | 21.8 | 21.4                |      | 10.7 | 19.6   |       |
| 18.4                | 16.3 | 33.5 | 16.0                |      | 17.0 | 26.7   | —     |
| (100)               | 15.5 | 22.8 | (100)               |      | 8.2  | (100)  | (156) |
| (100)               | 15.6 | 30.6 | (100)               |      | 21.8 | (100)  | (156) |
| 17.9                | 15.7 | 25.6 | 20.0                |      | 11.9 | 19.6   | 14.7  |
| 21.0                | 20.7 | 27.4 | 17.8                |      | 19.8 | 23.7   | 15.4  |
| 17.3                | 17.1 | 18.2 | 20.3                |      | 21.3 | 19.9   | 15.6  |
| 15.3                | 16.1 | 21.9 | 15.2                |      | 21.5 | 16.7   | 17.4  |
| 16.0                | 15.6 | 19.9 | 16.5                |      | 22.8 | 16.2   |       |
| 15.8                | 16.2 | 18.1 | 20.6                |      | 24.5 | 15.8   |       |
| 18.1                | 16.2 | 16.9 | 16.0                |      | 24.9 | 15.5   |       |
| 15.8                | 28.1 | 18.3 | 16.4                |      | 25.0 | 16.2   |       |



4. *On the Coda Waves of Earthquake Motions.* (Part 3)

By Syun'itirô OMOTE,

Earthquake Research Institute

Chapter 4. The coda periods of extremely distant earthquakes.

1). In this Chapter, investigations have been made of the coda oscillations of extremely distant earthquakes recorded in Tokyo. Since these earthquake records were obtained by a horizontal pendulum type seismograph, with long oscillation period of about sixty seconds, they can be regarded as representing nearly exactly the true earth movements during earthquakes.

The epicentral distances of the earthquakes studied in this Chapter exceeded 10,000 km, their epicenters being distributed along the western margins of the North and South American continents.

2). The frequency distributions of various periods of coda waves of four selected distant earthquakes are shown in Figs. 2—5, while the successive one minute means of the periods of thirteen earthquakes in Figs. 6—17.

The predominant periods of the coda oscillations of the respective earthquakes determined by these diagrams are given in Table IV. The predominant period in the case of the Mexico earthquake of Dec. 23, 1937 which is the nearest earthquake studied in this Chapter, with an epicentral distance of 11,600 km, has been found to be  $17.5 \pm 0.13$  seconds, while that of the South Georgia earthquake of Jan. 24, 1938, the most distant one, with an epicentral distance of 18,000 km, has been found to be  $18.1 \pm 0.16$  seconds.

It is likely that the greater the epicentral distances, the longer are the predominant periods, and the smaller the distances, the shorter the periods; a conclusion which agrees with that arrived at for the nearer earthquakes described in Chapters 1 to 3. The relation between the predominant periods and the epicentral distances is shown by a curve in Fig. 18. This curve indicates that, as the epicentral distance increases, the predominant period also increases but not with the same rate. The rate of increase of the predominant period according to the epicentral distance becomes smaller and smaller and, if the epicentral distance exceeds 13,000 km, the predominant period no longer increases but remains almost constant.

3). In the case of the earthquakes studied in the preceding Chapters, of which the epicentral distances were less than 10,000 km, it was found that after the large surface waves, which have been propagated along the minor arc of the earth's surface died away, the earthquake motions usually become almost constant in period and remained so during the subsequent 30 or 50 minutes. These regular waves, however, are followed again by large waves with longer periods, which are presumably the surface waves propagated along the major arc of the earth's surface. But after these large surface waves passed over, no wave due to the earthquake motion is seen on the seismogram any longer.

But if an earthquake of great magnitude is observed at a great distance of more than 10,000 km from the epicentre, as in our present case, the earth's oscillation is found to differ somewhat from these observed

in a smaller earthquake. On the seismogram of such a great earthquake, the oscillation is found to continue for two hours or more, and even after the large surface waves that have been propagated along the major arc of the earth's surface have passed over, the waves with pretty uniform periods and small amplitudes are seen to continue for more than 30 or 40 minutes. This part of coda oscillations, which follows the surface waves along the major arc of the earth's surface was named in this paper the second part of the coda oscillation. In contrast to this the coda oscillation that follows the surface waves along the minor arc of the earth's surface was named the first part of the coda oscillation. The coda waves studied in the preceeding Chapters therefore exclusively concerned with this first part.

4). Detailed studies on the second part of coda waves of four selected earthquakes have revealed that the predominant periods of this part of oscillations are about 16 seconds in all of them, in spite of the difference in their epicentral distances.

The important conclusion derived from this fact is that quite likely this constant predominant period of this part of coda waves is the free oscillation period of the surface layer of the earth's crust on which the observation station is situated. In other words, the coda oscillations of a great earthquake are composed, in their extremely later portions of the free oscillations of the surface layer. If we assume that the mode of oscillations of the surface layer to be like what was proposed by E. Wiechert, the period  $T$  of its free oscillation is given by  $T=4H/V$ , where  $H$  is the thickness of the surface layer concerned, and  $V$  the velocity of the transversal wave within it. If the velocity of the transversal wave is taken as  $V=1.14$  km/s, the superficial layer becomes about 4.5 km in its thickness.



## 5. 水成岩の自然残留磁氣 (第2報)

地震研究所 永 田 武

地球物理學教室 原 田 美 道

地球物理學教室 平 尾 邦 雄

(昭和18年6月15日, 7月6日發表——昭和20年12月20日受理)

### 1. 緒言及測定装置

前論文<sup>1)</sup>に報告した實驗に引續き, 成田層の保持する自然残留磁氣の測定を行つたのであるが, 今回の測定は單に自然残留磁氣の方位決定のみに止らず, その比強度をも出来るだけ正確に決定し得る様特に測定上注意した。測定装置は前報告に述べたものと全く同一であるが, 廻轉整流器, 増幅器, 廻轉速度安定装置等の諸部分に若干の改良を行つた。然しこれ等の改良は測定法の主方針を改變するものではなく, 主として装置の安定性と測定の迅速性とを高める事を目的とする全く技術的な事柄であるので, 本文ではその詳細は省略する。

測定試料は千葉縣印幡沼畔臼井に於いて採集した成田層細砂であるが, この試料は自然状態に於いてはかなり良く凝つて居り形を崩さずに採集する事が出来る。前報告に於いて取扱つた部分は成田層の上を蔽ふ關東ローム層との境界面から下方へ130cm厚の部分であつたが, 其の後引續き130cmから470cm迄約3.4mの厚さの部分に就いて同様の測定を行つた。多くの場合に就いては水平堆積層を2cm毎の薄層に分ち, その各々の薄層から1.5cm立方の試料を切り出したのであるが, 最後の方の一部に就いては厚さ10cmに就き3個の試料を等間隔に切り出し, その代り約6cmの水平間隔を置いて二列の試料を採集し, 極めて局部的な偏差の有無を検する方針を採つた。試料を切り出す際には立方體の各面が上下, 及び磁氣座標による東西南北を向く様に取り, 一試料宛厚紙製立方型箱に嵌め込んで密封し, その上に方位及び水平を記入した<sup>2)</sup>。猶ほ採集時に於ける方位及び水平の決定誤差は $2^{\circ}$ 以内であり, 多くの場合は $1^{\circ}$ 位におさまつてゐると思はれる。

測定試料の自然残留磁氣の方位及び強さの測定の標準としては, 試料と全く同型に

1) 永田武・明石和彦・カ石常次 震研彙報 21 (1943) 276.

2) 試料が十分乾燥してしまふと, 實驗装置上で試料を廻轉する際崩壊して砂粒のルーズな聚合に化してしまふ事がある。之を避ける爲には, 測定直前迄湿度100%に保つたデシケーター中に試料を密封しておく事が必要であつた。

製作した石英安山岩質凝灰岩<sup>3)</sup>を用ひ、一試料の測定毎に標準試料をも測り、測定結果の較正が出来る様にした。測定系の變動は主として増幅器の利得の變化によるもののみであつて、一度増幅器を始動して繼續的に使用すれば一日中殆んど變化は見られなかつた。猶ほ前報告に述べた如く、測定の前標準としては無定位磁力計によつて測定したやゝ大なる鋼鐵針の磁氣能率を基準とし、順次小なる磁針との比較測定を増幅器の利得を増加せしめつゝ行ひ、最後に凝灰岩とほぼ同程度の磁氣能率を有する微小標準磁針を得る。この微小磁針と凝灰岩標準試料との比較測定を行つて、後者を常用の標準とした。微小磁針は磁化方向決定の標準としては屢々用ひたのであるが、その保持する殘留磁氣は地球磁場内に鋼鐵線を長時間放置する事によつて得たものであつて、恐らく極めて不安定な値と思はれるので磁化強度の標準には用ひられない。従つて無定位磁力計による原標準磁針の測定から最後の凝灰岩標準試料の測定に至る迄を約半日の短時間で行ひ、長日数を要する多數の岩石試料の測定には安定な凝灰岩殘留磁氣を標準としたのである。

測定及び採集の兩誤差を加算すると、成田層試料の自然殘留磁氣測定に於いて、結局方位に於いて  $3^\circ$  以内、強さに於いて  $2\%$  以内の誤差が附隨する事が豫期される。

## 2. 測 定 結 果

測定の最後の結果は第1表に示す如くである。茲に自然殘留磁氣の強さは、 $1\text{ gr}$  あたりの磁化の強さ、即ち比強度  $J$  を以て表はし 方向に關しては、磁化方向が水平面と爲す角を伏角  $I$  とし、磁化方向を含む鉛直面が地球磁氣子午面から偏る角を偏角  $D$  とす。但し後者に於いては東偏を正とし、西偏を負とす。

前論文に既に記載した部分をも含めて、全測定結果の  $D$ ,  $I$ , 及び  $J$  を圖示したものが第1圖である<sup>4)</sup>。茲に同圖の横軸は關東ローム層と成田層との境界面から試料の中心に至る深さを表はすものとする

先づ偏角  $D$  の深さに對する變化を吟味する。上層  $80\text{cm}$  の間に於ける極めて規則的な週期的變動は、それ以下の地層から採集した試料には見られないけれども、その部分に於いてもやはりほぼ週期的な變化が明らかに見られる。 $D$  と深さ  $Z$  との間の關係の大勢を明らかにする爲に、厚さ  $20\text{cm}$  毎について  $D$  の移動平均  $\bar{D}$  をとり、 $\bar{D}$  と  $Z$  との關係を第2圖に圖示した。第2圖に於いて、先づ明らかに觀られる事は

3) 前報告 288 頁に記載せるもの。

4) 序報に於いて既に報告した部分に就いては  $J$  の値が缺けてゐる。測定の際強度には注意せず、場合によつては増幅器の利得を加減したりしたので、磁化強度の正確な値が出てゐないからである。



第 I 表 成田層の自然残留磁気の強方位及び強度

| 計料番號   | 深 Z<br>サ | 偏角<br>D<br>(東偏正) | 伏角<br>I | 比強度<br>J              | 計料番號   | 深 Z<br>サ | 偏角<br>D<br>(東偏正) | 伏角<br>I | 比強度<br>J              |
|--------|----------|------------------|---------|-----------------------|--------|----------|------------------|---------|-----------------------|
| No. 73 | 151cm    | 20°              | 60°     | $0.58 \times 10^{-5}$ | No.113 | 231cm    | 16°              | 56°     | $1.02 \times 10^{-5}$ |
| 74     | 153      | 6                | 58      | 0.49                  | 114    | 233      | 13               | 65      | 0.91                  |
| 75     | 155      | 16               | 61      | 0.73                  | 115    | 235      | - 3              | 63      | 1.37                  |
| 76     | 157      | 6                | 61      | 1.46                  | 116    | 237      | - 3              | 62      | 0.98                  |
| 77     | 159      | 13               | 62      | 0.94                  | 117    | 239      | - 2              | 62      | 0.95                  |
| 78     | 161      | 1                | 56      | 1.66                  | 118    | 241      | 12               | 68      | 1.05                  |
| 79     | 163      | 14               | 71      | 1.64                  | 119    | 243      | - 4              | 63      | 1.06                  |
| 80     | 165      | 21               | 67      | 0.64                  | 120    | 245      | 23               | 60      | 1.07                  |
| 81     | 167      | 6                | 64      | 0.64                  | 121    | 247      | 6                | 58      | 0.95                  |
| 82     | 169      | 19               | 62      | 1.69                  | 122    | 249      | 5                | 58      | 1.13                  |
| 83     | 171      | 15               | 65      | 2.04                  | 123    | 251      | 18               | 57      | 1.19                  |
| 84     | 163      | 3                | 57      | 1.91                  | 124    | 253      | 10               | 58      | 0.98                  |
| 85     | 175      | - 5              | 58      | 2.52                  | 125    | 255      | 20               | 46      | 1.38                  |
| 86     | 177      | 17               | 58      | 1.50                  | 126    | 257      | 7                | 56      | 0.63                  |
| 87     | 179      | 19               | 43      | 1.19                  | 127    | 259      | 10               | 51      | 1.70                  |
| 88     | 181      | 6                | 60      | 1.05                  | 128    | 261      | 12               | 52      | 1.77                  |
| 89     | 183      | 15               | 59      | 1.47                  | 129    | 263      | 3                | 54      | 1.76                  |
| 90     | 185      | 6                | 59      | 1.14                  | 130    | 265      | 5                | 55      | 1.75                  |
| 91     | 187      | 16               | 63      | 1.19                  | 131    | 267      | 8                | 52      | 1.41                  |
| 92     | 189      | 15               | 56      | 1.19                  | 132    | 269      | - 9              | 57      | 1.32                  |
| 93     | 191      | 21               | 58      | 1.45                  | 133    | 271      | - 8              | 53      | 1.13                  |
| 94     | 193      | 13               | 64      | 1.32                  | 134    | 273      | - 9              | 52      | 1.06                  |
| 95     | 195      | 11               | 57      | 1.24                  | 135    | 275      | - 6              | 63      | 1.39                  |
| 96     | 197      | 2                | 59      | 1.04                  | 136    | 277      | - 7              | 59      | 0.95                  |
| 97     | 199      | 1                | 63      | 1.20                  | 137    | 279      | - 5              | 58      | 0.70                  |
| 98     | 201      | - 8              | 67      | 1.45                  | 138    | 281      | 3                | 57      | 1.45                  |
| 99     | 203      | - 7              | 65      | 0.91                  | 139    | 283      | - 8              | 59      | 1.08                  |
| 100    | 205      | - 2              | 64      | 1.50                  | 140    | 285      | 6                | 57      | 1.28                  |
| 101    | 207      | -12              | 60      | 1.22                  | 141    | 287      | 7                | 59      | 1.36                  |
| 102    | 209      | -16              | 61      | 1.51                  | 142    | 289      | 18               | 58      | 1.50                  |
| 103    | 211      | - 7              | 63      | 0.96                  | 143    | 291      | 13               | 54      | 0.89                  |
| 104    | 213      | - 6              | 56      | 1.16                  | 144    | 293      | 17               | 47      | 1.23                  |
| 105    | 215      | - 5              | 63      | 0.92                  | 145    | 295      | 11               | 52      | 1.62                  |
| 106    | 217      | - 5              | 61      | 0.89                  | 146    | 297      | 9                | 55      | 1.46                  |
| 107    | 219      | 4                | 58      | 0.85                  | 147    | 299      | 12               | 54      | 1.38                  |
| 108    | 221      | 16               | 55      | 0.80                  | 148    | 301      | 11               | 53      | 1.55                  |
| 109    | 223      | 17               | 61      | 1.64                  | 149    | 303      | 12               | 49      | 0.86                  |
| 110    | 225      | 11               | 59      | 1.28                  | 150    | 305      | 6                | 54      | 1.33                  |
| 111    | 227      | - 2              | 67      | 1.32                  | 151    | 307      | 7                | 53      | 1.28                  |
| 112    | 229      | 16               | 56      | 1.26                  | 152    | 309      | 6                | 53      | 1.30                  |

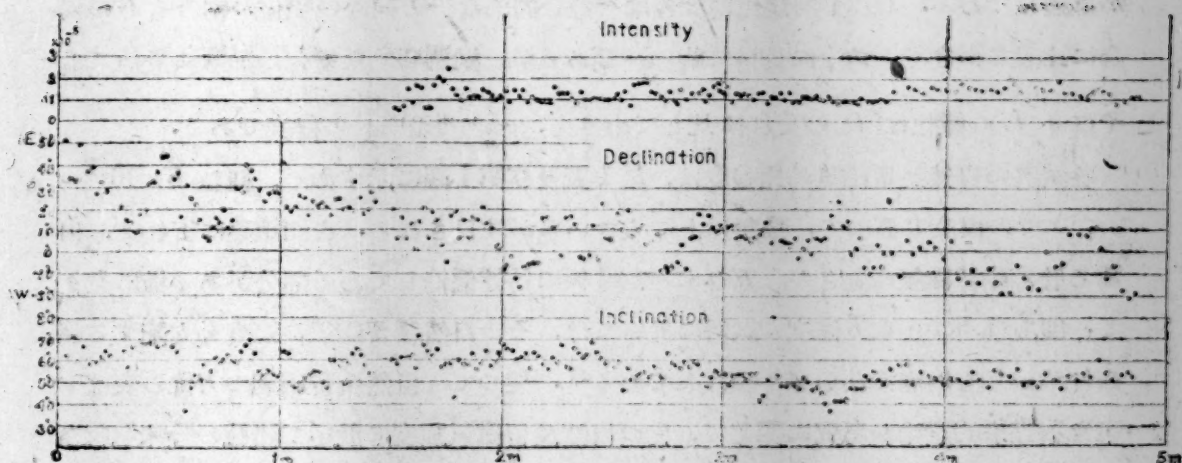
(次頁へ続く)

第 I 表 (續き)

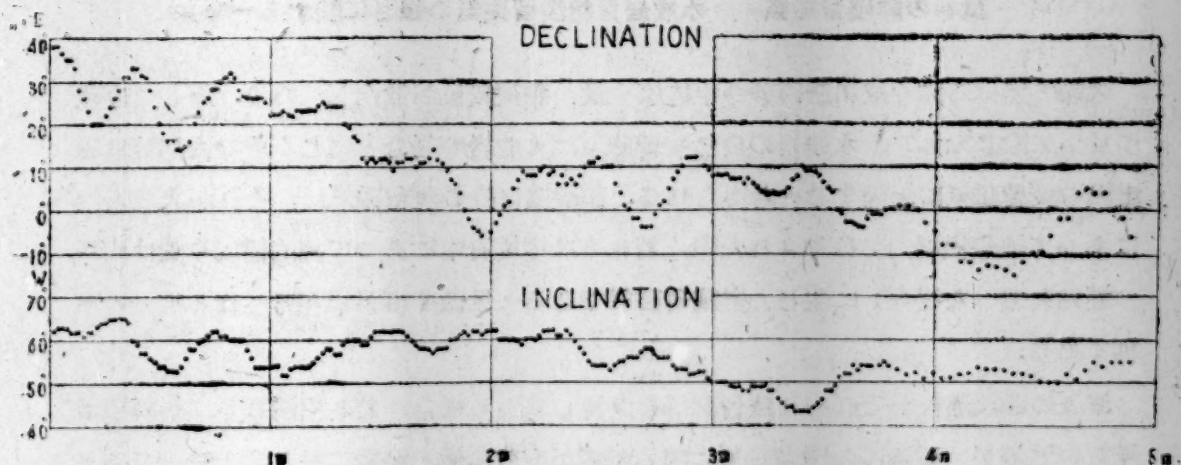
| 試料番號   | 深さ<br>Z | 偏角<br>D<br>(東偏正) | 伏角<br>I | 比強度<br>J              | 試料番號   | 深さ<br>Z | 偏角<br>D<br>(東偏正) | 伏角<br>I | 比強度<br>J               |
|--------|---------|------------------|---------|-----------------------|--------|---------|------------------|---------|------------------------|
| No.153 | 311cm   | 4°               | 51°     | $1.22 \times 10^{-5}$ | No.186 | 380cm   | -11              | 58°     | $2.1^1 \times 10^{-5}$ |
| 154    | 313     | 6                | 53      | 1.06                  | 187    | 383     | 5                | 58      | 1.57                   |
| 155    | 315     | 8                | 53      | 1.31                  | 188    | 386     | -1               | 49      | 1.45                   |
| 156    | 317     | 10               | 42      | 1.43                  | 189    | 390     | 2                | 55      | 1.32                   |
| 157    | 319     | 14               | 44      | 0.70                  | 190    | 393     | 4                | 53      | 1.57                   |
| 158    | 321     | 4                | 51      | 1.13                  | 191    | 396     | 2                | 52      | 1.45                   |
| 159    | 323     | (-55)            | (80)    | 1.10                  | 192    | 400     | -4               | 49      | 1.52                   |
| 160    | 325     | 5                | 53      | 1.32                  | 193    | 403     | 5                | 52      | 1.44                   |
| 161    | 327     | 4                | 48      | 1.01                  | 194    | 406     | -12              | 51      | 1.75                   |
| 162    | 329     | 4                | 48      | 1.39                  | 195    | 410     | -14              | 50      | 1.62                   |
| 163    | 331     | 6                | 49      | 0.98                  | 196    | 413     | -8               | 55      | 1.51                   |
| 164    | 333     | -3               | 48      | 0.93                  | 197    | 416     | -14              | 51      | 1.43                   |
| 165    | 335     | 1                | 47      | 1.15                  | 198    | 420     | -7               | 48      | 1.47                   |
| 166    | 337     | 5                | 52      | 1.15                  | 199    | 423     | -14              | 56      | 1.36                   |
| 167    | 339     | -1               | 50      | 1.02                  | 200    | 426     | -19              | 54      | 1.60                   |
| 168    | 341     | 6                | 46      | 1.17                  | 201    | 430     | -19              | 53      | 1.78                   |
| 169    | 343     | 5                | 47      | 1.00                  | 202    | 433     | -6               | 56      | 1.38                   |
| 170    | 345     | 6                | 45      | 0.97                  | 203    | 436     | -12              | 49      | 0.97                   |
| 171    | 347     | 12               | 40      | 1.17                  | 204    | 440     | -16              | 50      | 1.59                   |
| 172    | 349     | 17               | 36      | 0.98                  | 205    | 443     | -17              | 48      | 1.47                   |
| 173    | 351     | 24               | 41      | 0.80                  | 206    | 446     | 0                | 54      | 1.50                   |
| 174    | 353     | 11               | 41      | 0.87                  | 207    | 450     | -7               | 51      | 1.90                   |
| 175    | 355     | 14               | 41      | 0.93                  | 208    | 453     | -5               | 47      | 1.31                   |
| 176    | 357     | -1               | 42      | 0.87                  | 209    | 456     | 8                | 53      | 1.34                   |
| 177    | 359     | 1                | 47      | 0.86                  | 210    | 460     | 8                | 51      | 1.16                   |
| 178    | 361     | 6                | 47      | 0.79                  | 211    | 463     | 7                | 54      | 1.07                   |
| 179    | 363     | -7               | 47      | 1.13                  | 212    | 466     | 11               | 53      | 1.43                   |
| 180    | 365     | -10              | 54      | 0.99                  | 213    | 470     | 1                | 61      | 1.42                   |
| 181    | 367     | -7               | 51      | 0.94                  | 214    | 473     | -12              | 55      | 1.35                   |
| 182    | 369     | 3                | 55      | 0.97                  | 215    | 476     | 4                | 51      | 0.77                   |
| 183    | 371     | -7               | 51      | 1.02                  | 216    | 480     | -8               | 54      | 0.93                   |
| 184    | 373     | -1               | 49      | 0.91                  | 217    | 483     | -11              | 55      | 1.12                   |
| 185    | 376     | 0                | 56      | 1.39                  | 218    | 486     | -9               | 53      | 1.12                   |

$D$ は成田層の上部に於いては $+30 \sim 40^\circ$ の値を持つが深さと共に漸次減少し、 $Z=4m$ 附近で $D$ は0又は寧ろ負の値を持つ事である。(即ち $Z=4m$ 附近の試料の自然残留磁氣の方位は現在の磁氣子午面とほぼ一致してゐるが、 $Z$ が減少すると共に漸次東偏し、關東ローム層との境界附近では東偏 $30 \sim 40^\circ$ に及んでゐる。)この一般的な緩やかな變化に重疊して、複振幅 $10 \sim 15^\circ$ 程度の疑週期的變動も存在する。週期分析の最





第 1 圖 成田層の自然残留磁気方位の深さに對する變化

第 2 圖 成田層の自然残留磁気方位の深さに對する變化  
(移動平均によつて平滑にした曲線)

も簡単な方法の一つとして  $D$  曲線の山から山、谷から谷の距離の頻度を求めると、次表の如く、週期 40~50cm の範圍のものが著しく卓越してゐる。

| 週 | 期   | 29cm 以上 | 30~39 | 40~49 | 50~59 | 60~69 | 70 cm 以上 |
|---|-----|---------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 頻 | $D$ | 0       | 3     | 11    | 4     | 1     | 0        |
| 度 | $I$ | 1       | 2     | 8     | 4     | 2     | 1        |

次に同様の移動平均を  $I$  の値に對して行つた結果は第2圖下部に示す如くである。全體の傾向としては、層の上部に於いて伏角  $I$  の値が大きく、下部に於いては小さくなり、その差は約  $10^\circ$  位である。 $D$  の場合に同じく、上述の全體的傾向に疑週期的な變動が重疊し、その週期は上表に明らかなる如く、やはり 40~50 cm の範圍のもの

が卓越してゐる。 $I$  の平均變化の割合はその全體的な一方向きの變化の割合も  $D$  の場合に比して小さく、角度に於いて約  $\frac{1}{3}$  であるが、疑週期的な變化の振幅に於いてもやはり  $I$  の變化は  $D$  のそれに比して小さく、 $\frac{1}{2}$  乃至  $\frac{1}{3}$  の程度である。

各試料の自然残留磁氣の比強度は、第1表及び第1圖に示す如く、概ね  $5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-5}$  の程度であつて、豫想以上に大きい事が注目される。實測結果によれば、相隣る層の残留磁氣の強さが、互ひに無關係に彷徨偏倚してゐる部分がある様に見える。即ち 1.5cm 立方程度の試料に於いては、その自然残留磁氣の強度を支配する諸條件が必しも均等でない事を表はしてゐる<sup>5)</sup>。従つて、自然残留磁氣の方位の表はす可き物理學的意味の考究に際して、先づ自然残留磁氣強度に就いて諸種の吟味を行ひ我々の測定した自然残留磁氣諸要素の信頼度を決定する必要があると思ふ。

### 3. 試料の熱残留磁氣——水成岩自然残留磁氣の強さに關する一吟味

次節に述べる如く成田層細砂の中には少量の磁鐵礦粒が散在してゐる。而して序報に於いて論じた如く、水成岩の自然残留磁氣は火成岩の場合と同じくその大部分は磁鐵礦の残留磁氣に起因すると考へられる。磁鐵礦自身の残留磁氣は、それが火成岩内にあつて地球磁場内で冷却された際、(若しくは變成岩中であつて熱的變成を受け同様の経過を辿つた場合) に生じた熱残留磁氣であると見做す事が現在考へ得る唯一の解釋である。

個々の磁鐵礦粒がそれぞれ残留磁氣を保持してゐる場合、若し相隣れる二つの磁鐵礦粒の間隔が、磁鐵礦の残留磁氣に因る磁場が有効に働く距離に比して十分大であるならば<sup>6)</sup>、磁鐵礦粒相互間の消磁作用を無視する事が出来る。従つて岩石試料としての見かけの磁氣能率は個々の磁鐵礦粒の磁氣能率のベクトル和と見做して差支へない。磁鐵礦粒の磁氣能率を  $\vec{\mu}_i$  とする時、そのベクトル和と算術和の比 即ち

$$a = \frac{|\sum_i \vec{\mu}_i|}{\sum_i \mu_i}$$

5) 但し、第1圖に於いて明らかなる如く、強度の相違は桁数が異なる程大なるものではなく、ほと  $J \sim 10^{-5}$  の値をとる。

6)  $1\text{cm}^3$  中の強磁性礦物粒数を  $N$ 、平均間隔を  $l$  とし、又強磁性礦物1個の平均磁化強度を  $j$  とすれば、

$$\frac{1}{l^3} = N, \quad j = \frac{J}{N}$$

茲に  $J$  は  $1\text{cm}^3$  の熱残留磁氣の強さ。故に1個の礦物粒が隣りの礦物粒に及ぼす平均の磁界強度は  $H = \frac{j}{l^3} = jN = J$  然るに  $J \leq 10^{-4}$ 。即ち  $10\gamma$  の程度である。



は岩石試料の磁鐵礦粒群がある特定の方向に向けられてゐる割合を示す<sup>7)</sup>。こゝに  $\alpha$  の大きさが偶然に起り得る程小であれば、自然残留磁気の方向の測定値は物理的意義を失つてしまふ事は言を俟たない。 $\alpha$  を求めるに當つて、 $\sum \mu_i$  を直接求める事は極めて困難であるが、試料を加熱して磁氣變態點温度以上にし、再び弱磁場内で磁場冷却を行へば、試料内の磁鐵礦粒はすべて所與磁場の方向の熱残留磁氣を得る<sup>8)</sup>。この熱處理によつて磁鐵礦粒の性質が變化せず、且つ磁場冷却の際與へた磁場の強さが磁鐵礦粒が火成岩又は變成岩中に於いて冷却した際の地球磁場に等しく、且つ自然状態に於ける熱残留磁氣保有後現在迄消磁が行はなはれてゐないならば、實驗室に於いて得た熱残留磁氣  $J$  は  $\sum \mu_i$  に等しい筈である。

然るに火山岩による實驗結果<sup>9)</sup>によれば、新しい噴出岩に就いては、現在の地球磁場と等しい磁場内で冷却すれば、その自然残留磁氣と數%の誤差範圍で一致する熱残留磁氣を得る。水成岩の場合に於いても、上記の前提三條件の内の第一の事項は少くとも近似的に成立すると考へられる<sup>10)</sup>。第二と第三の條件は分離して判定する事は出來ないけれども、洪積世噴出の火山岩に就いての測定結果<sup>11)</sup>によれば、自然残留磁氣の強さは現在地球磁場内に於ける熱残留磁氣の強さに對して  $0.68 \pm 0.05$  である。成田層は洪積世の沈積層であり、且つ火山岩に比して遙かに多くの機械的及化學的作用を受けて來た筈であるから、消磁の割合は火山岩の場合に比して更に大きいと考へられる。従つて一般には

$$\sum \mu_i < J.$$

更に洪積世の火山岩の場合、自然残留磁氣の現地球磁場内での熱残留磁氣に對する比が、殆んどすべての場合 0.8 以下であるから、現地球全磁力 (關東地方に於ける) の約 8 割、即ち 0.40  $O_e$  の磁場に於ける熱残留磁氣の強さ  $J_{0.4}$  は、上述の理由により成田層の  $\sum \mu_i$  の上限を與へると考へられる。

$$\sum \mu_i \leq J_{0.4}$$

従つて

$$\alpha \geq \frac{|\sum \mu_i|}{J_{0.4}} = \frac{J_n}{J_{0.4}} = k$$

茲に  $J_n$  は自然残留磁氣の強さである。斯くして  $\alpha$  の値の下限を求める爲に、成田

7) 永田武・明石和彦・力石常次 前掲

8) 永田武・震研彙報 21 (1943), 82.

9) 永田武・前掲 148

10) 水成岩中の強磁性礦物はその結晶後の経過時間が、新しい火山岩に比して非常に大であり、且つ酸化其他の理由で變化してゐるの考へられるので、この假定は桁數が一致するといふ程度かも知れない。

11) 永田武、前掲

層の試料の 13 個に就いて 0.4 O. は於ける飽和熱残留磁気<sup>12)</sup>の測定を行つた。

先づ自然残留磁気の測定の終つた後試料をデシケーター中に入れて十分乾燥せしめる<sup>13)</sup>。乾燥してバラバラになつた細粒は、内則 15 mm 立方の熔融水晶製容器へ十分に密に封入し、容器の口は石綿薄板で蓋する。この試料を無誘導電気爐内にて加熱し、磁場冷却するのであるが、爐内に於ける試料の一稜は磁力線に直角を爲し、一面は水平である。斯くして熱残留磁気を得た試料は、そのまゝ湿度 100% に保つたデシケーター中に一日間以上放置して十分水分を吸収せしめ、然る後水成岩の自然残留磁気の場合と全く同じ方法を以て、磁化方向及び強さを測定する。熱残留磁気の磁化方向は測定装置の誤差の範囲で常に所與磁場の方向と完全に一致してゐるので問題はない。之に對し、 $J_{0.4}$  の値は第 II 表に示す如くであつて、同一試料の  $J_n$  との比  $k$  も

第 I 表 成田層試料の熱残留磁気と自然残留磁気

| 試料番号   | 熱 残 留 磁 気<br>$J_{0.4}$         | 自 然 残 留 磁 気<br>$J_n$           | $k = \frac{J_n}{J_{0.4}}$ |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| No. 73 | $5.02 \times 10^{-5}$ e. m. u. | $0.58 \times 10^{-5}$ e. m. u. | 11%                       |
| 74     | 4.56 "                         | 0.49 "                         | 11                        |
| 75     | 6.59 "                         | 0.73 "                         | 11                        |
| 76     | 9.49 "                         | 1.46 "                         | 15                        |
| 77     | 5.05 "                         | 0.94 "                         | 19                        |
| 78     | 14.50 "                        | 1.66 "                         | 11                        |
| 79     | 9.17 "                         | 1.64 "                         | 18                        |
| 80     | 6.29 "                         | 0.64 "                         | 10                        |
| 81     | 6.25 "                         | 0.64 "                         | 10                        |
| 82     | 11.38 "                        | 1.69 "                         | 15                        |
| 83     | 13.05 "                        | 2.04 "                         | 16                        |
| 84     | 8.17 "                         | 1.91 "                         | 23                        |
| 85     | 14.01 "                        | 2.52 "                         | 18                        |

同表に示す如く試料によつて 0.10 から 0.23 迄の間の種々の値をとる。但しこの相異は必ずしも磁鐵礦粒の配列の度合のみによるものではなく、長年月間の消磁作用の大小も多分に原因してゐると考へられる。

結局この試験の結果、 $\alpha$  は最小限 10%，平均に於いて 14% より大きく、恐らく 20% 程度に達するであらう事が結論せられる。この値は先に長さ 2m の水管中に磁化磁鐵礦粒を沈降堆積せしめた模型實驗に於ける結果<sup>14)</sup>  $J_n/J=1/3$  とほぼ同程度の値である。

12) 永田武 前掲 92

13) 砂粒中の水分を完全に除去しないと熱處理の際、磁鐵礦の酸化が著しくなる。

14) 永田武・明石和彦・力武常次 前掲 281



## 4. 試料中の磁鐵礦の分量

試料中に於ける磁鐵礦の分量, 分布状態, 及び磁鐵礦粒の大きさ等の大勢を見る爲に, 次の如き簡単な考察を行つた。

立方形試料の一平面から, 20/12 mm 平方の正方形を 20 だけ任意に採り, その各々の平面に於ける全磁鐵礦粒の斷面積を測定した。一平面に於ける磁鐵礦粒斷面積の全平面に對する面積比を, 測定した 20 平面に就いて平均した値を以て, 磁鐵礦の含有率としたものである。實際の測定に當つては, 倍率 60 倍の顯微鏡を用ひ, 20/12 mm 平方は縦横 1/12 mm 宛, 計 400 の正方網目の物指を用ひ, 1/12mm 平方を一單位として, 磁鐵礦の斷面積を 1/10 單位迄測定した。但し, 面積比の判定であるから, 誤差は直線比の判定の場合に比してかなり大きいと考へられる。斯くして, 試料 No. 73 より No. 87 迄 15 個について, 磁鐵礦含有率を測定した結果は第 III 表に示す如くである。

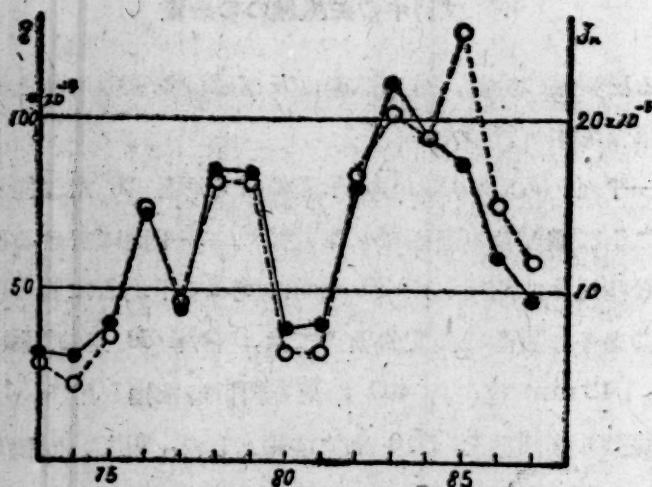
第 III 表 成田層試料の磁鐵礦含有率と自然残留磁気

| 試料番號   | 磁鐵礦含有率<br>$q$ | 自然残留磁気<br>$J_n$       | $J/q$                | 單位面積中の<br>磁鐵礦粒數<br>$n$ |
|--------|---------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| No. 73 | 0.0032        | $0.58 \times 10^{-5}$ | $1.8 \times 10^{-3}$ | 149                    |
| 74     | 0.0031        | 0.49 "                | 1.6 "                | 112                    |
| 75     | 0.0040        | 0.73 "                | 1.8 "                | 254                    |
| 76     | 0.0072        | 1.46 "                | 2.0 "                | 363                    |
| 77     | 0.0044        | 0.94 "                | 2.1 "                | 312                    |
| 78     | 0.0084        | 1.66 "                | 2.0 "                | 345                    |
| 79     | 0.0082        | 1.64 "                | 2.0 "                | 347                    |
| 80     | 0.0038        | 0.64 "                | 1.7 "                | 124                    |
| 81     | 0.0039        | 0.64 "                | 1.6 "                | 150                    |
| 82     | 0.0080        | 1.69 "                | 2.1 "                | 331                    |
| 83     | 0.0111        | 2.04 "                | 1.8 "                | 601                    |
| 84     | 0.0095        | 1.91 "                | 2.0 "                | 580                    |
| 85     | 0.0087        | 2.52 "                | 2.9 "                | 477                    |
| 86     | 0.0060        | 1.50 "                | 2.5 "                | 281                    |
| 87     | 0.0048        | 1.19 "                | 2.5 "                | 274                    |

この結果を, 同じく第 III 表に示す自然残留磁気比強度  $J_n$  と對比すれば, 第3圖に示す如く, 殆んど比例關係が成立する。即ち成田層の自然残留磁気の強さは, その中に含まれる磁鐵礦<sup>15)</sup>の分量はほぼ比例する事が結論される。

此處に一つ問題となる點は,  $J_n$  と  $q$  との間の比例關係の精度に比して, 前節に述

15) 此にいふ磁鐵礦とは, 言ふ迄もなく純  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  といふ意味ではなく,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  其の他を含んだ岩石の顯微鏡検査に於ける所謂磁鐵礦の意味である。



第3圖 試料の自然残留磁気強度と磁鐵礦粒含有量との比較  
 黒丸：磁鐵礦含有量( $q$ ) 白丸：自然残留磁気強度( $J_n$ )  
 横軸は試料番號(深さの順に等間隔)を表す。

べた $k$ の値の一定度に於ける偏倚が著しく大きく、 $k$ の最大と最小との比がおよそ2:1に達する事實である。然る時は前節の實驗に於ける三前提條件の何れかに相當量の違ひを含む事を意味する。この點に就いては、現在確實な實證的論議が得られてゐないのであるが、前節の $k$ の値に関する實驗結果は恐らく $\alpha$ の大きさの桁数を與へる程度に止るものと思はれる。

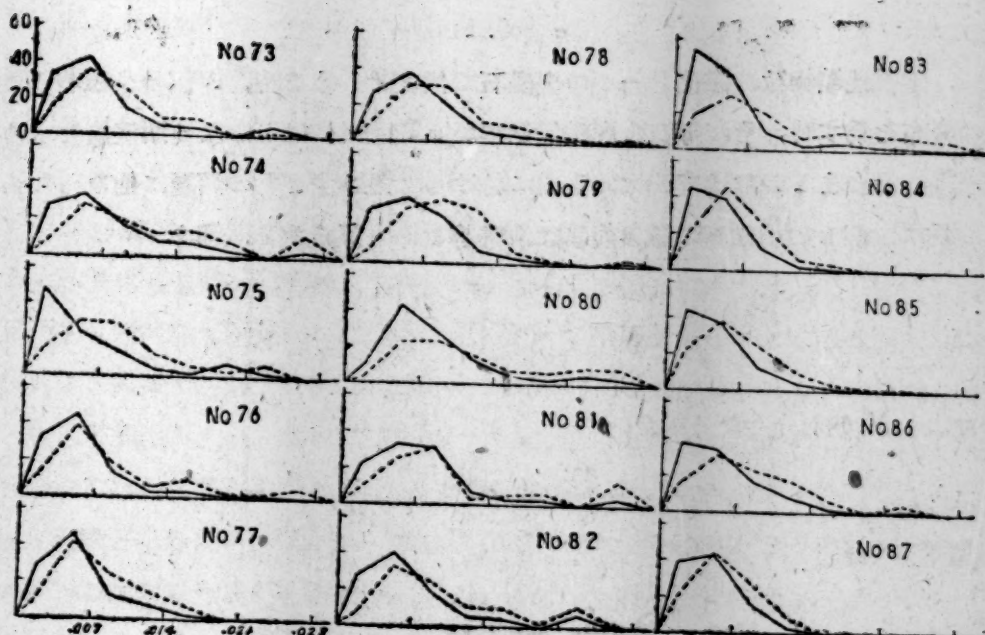
次に各試料に於ける強磁性礦物粒の數及び大きさを吟味する。第III表の $n$ は1cm平方に於ける磁鐵礦粒の數である。第4圖に示すのは、各試料に於ける種々の大きさの磁鐵礦粒の頻度分布圖であつて、横軸は斷面積を表はし<sup>16)</sup>、圖の實線は粒數に就いての頻度分布、點線は體積に就いての頻度分布である。之等の圖のすべてを通じて明らかなる事實は、殆んどすべての磁鐵礦粒は斷面積に於いて0.01mm以内、換言すれば平均直径0.1mm程度以下のものが壓倒的に數多い事である。

扱て、次の問題として試料單位體積中の磁鐵礦粒の數 $N'$ を求めたい。顯微鏡觀察によれば、磁鐵礦粒以外の砂粒も、その大きさは平均直径0.05~0.2mm程度であつて、0.5mmを超える事は殆んどない。然るに單位面積に於ける磁鐵礦粒數 $n$ は斷面積が單位面積にして厚みが砂粒平均直径なる體積中の磁鐵礦粒數であると大略見做す事が出来る。従つて砂粒平均直径を $d$ とすれば

$$N' = \frac{n}{d}$$

16) この測定に於いては、正式の volumetry の方式の如く薄片を用ひず、ほゞ一層に並んだ礦物粒の斷面積を見てゐるから、測定斷面積はそのまゝ礦物粒の中央に於ける平均斷面積と見て差支へない。





第4図 成田層試料中に含まれる磁鐵鐵粒の大きさ

(横軸は粒の斷面積を  $\text{mm}^2$  を單位として表はす)

實線: 粒數に就いての頻度分布 破線: 體積に就いての頻度分布

$d$  を大きく見積る程,  $N'$  の推定値が小さくなる事は上式により明らかである. 今  $d$  に對して極端に大きな値をとつて  $d=0.2\text{mm}$  として見ると, 第 III 表に於いて最も小さい  $n$  は  $n=112$  であるが, 之に對應する  $N'$  は  $N'=2240$ . 即ち測定試料の内最も磁鐵鐵粒の少い試料に於いて, 然もすべての條件を最小限にとつても, 單位體積中の  $N'$  は  $2 \times 10^3$  個以上在るといふ結果になる. 故に測定試料即ち  $(1.5\text{cm})^3 = 3.38\text{cm}^3$  の體積中の磁鐵鐵粒數を  $N$  とすれば, 上の結果より

$$N > 7 \times 10^3$$

である.

#### 5. 試料の自然残留磁氣方向の信頼度

§ 3 及 § 4 に述べた實驗的吟味の結果から, 少くとも次の二つの事實を結論する事が出来る.

(i) 一試料内に於いて, その磁性の殆んどすべてを負擔すべき強磁性鐵物粒の數は, 過少に見つても 7000 個以上存在する.

$$N > 7000$$

(ii) 一試料の自然残留磁氣の強度は, その試料内の強磁性鐵物の残留磁氣の方向が全部平行になる場合の強度の少くとも 10% 以上である.

$$\alpha > 0.1$$

扱て、強磁性礦物粒の磁化を一つの磁石で代表せしめる時、 $N$ 個の小磁石  $j_n$  が偶然の分布を爲す時、それ等の合成磁氣能率が  $\alpha \sum_n |j_n|$  以上になる期望値を求める事は、全くそのまゝの形式で三次元空間に於ける“迷ひ歩き”の問題に他ならない。簡単の爲に、個々の小磁石の磁氣能率は全部等しいと假定する。即ち

$$j_1 = j_2 = \dots = j_n = j$$

今

$$\frac{Nj^2}{3} \equiv \sigma^2, \quad \alpha Nj \equiv r_0$$

とおけば、 $N$  が十分大なる場合

$$\left| \sum_n \vec{j}_n \right| \geq \alpha \sum_n |\vec{j}_n|$$

なる確率  $P$  は

$$P = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{r_0}{\sqrt{2}\sigma}}^{\infty} t^2 e^{-t^2} dt$$

$$= \sqrt{\frac{6N}{\pi}} \alpha e^{-\frac{3}{2} N \alpha^2} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\alpha \sqrt{\frac{3}{2} N}}^{\infty} e^{-t^2} dt$$

で與へられる。前述の結果に従ひ  $N=7000$ ,  $\alpha=0.1$  とすれば

$$P \cong 3.5 \times 10^{-45}$$

即ち實際の試料に於いて、その自然残留磁氣が磁化礦物粒の偶然の配列の結果生ずる事の期望値は  $10^{-45}$  程度以下で、殆んど絶無と言つて良い。實際問題としては、我々の測定せる試料の自然残留磁氣の方位に關して、ある物理的意味を期待する事は十分信用出来る。この結果は更に  $N$  の少い場合に就いても十分期待出来るのであつて、例へば  $N=1000$  の様な試料があつたとしてもなほ  $P=1.4 \times 10^{-5}$  であつて偶然とは見做し難いのである。

## 6. 成田層の自然残留磁氣の方向

以上の諸吟味の結果から、水成岩の磁氣的分極は水成岩の生成途中、若しくは生成後に加へられた外部磁界の影響と考へるのが唯一の解釋法である。茲に生成後の外部磁界の影響とは、例へば雷放電等による瞬間的強磁界の發生に因つて、水成岩が磁化され若干の残留磁氣を結果するが如きを指すのであるが、第1圖に示す如き秩序だつた磁化方向の分布が斯様な現象から全然期待出来ない事は、火山岩の自然残留磁氣に

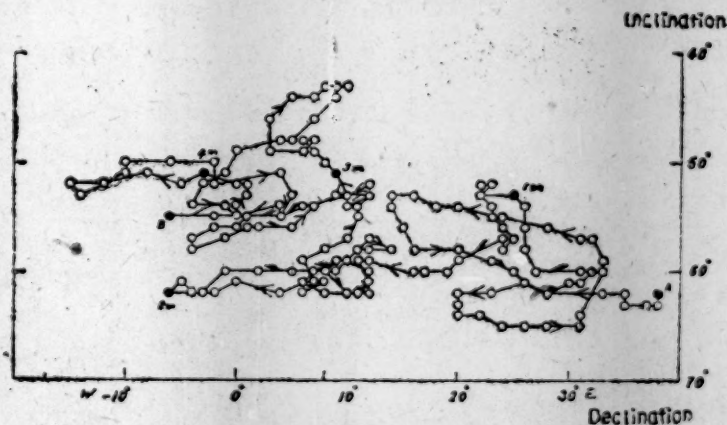


於ける場合<sup>17)</sup>と全く事情を一にする。人工的磁界も全く同じ理由によつて我々の問題からは除外され、又水成岩層が長い時間地球磁場の中に在つた結果、若干の残留磁氣を得たとする見解も火成岩の自然残留磁氣に關する多くの吟味の結果<sup>8)</sup>から今の場合拒否されねばならぬ。成田層の自然残留磁氣の強さには、その試料を 10e. の磁界に入れた際の誘導磁化の強さを以てしても未だ及ばないからである。

即ち McNish 等も直觀的に豫想し、又我々も前論文に置いてやゝ注意深く豫想した如く、磁化された微粒子が海底又は河底に堆積する際、地球磁場による廻轉能率が作用し、統計的な結果に於いては沈積の際存在した地球磁場の方向に磁氣分極したとする見解が最も可能性が多い。水中及び水底に於いて粒子の方向を擾亂する力は粒子に働く磁氣能率に比して必しも小さくないと考へられる。従つて前論文に於いて行つた若干の模型實驗とその説明には、かゝる擾亂を考慮した場合の偏倚の大きさに對する評價を附加へねばならないであらう<sup>19)</sup>。

以上の見地からすると、第1圖に示す  $D$  及び  $I$  の値に於いて、之等の値はその試料が沈積した際の、その地點に於ける地球磁力の方向をほぼ示してゐると見做して差支へない。第1圖の移動平均値から得た第2圖の平滑曲線は、従つて地球磁場の方向の永年變化の大勢を表はすと見られる。 $\bar{D}$  及び  $\bar{I}$  曲線に就いて特に著しい傾向は既に §2 に於いて指摘した諸點であるが、試料の  $\bar{D}$  及び  $\bar{I}$  の變化具合をそのまま地球磁場の  $D$  及び  $I$  の變化の模様と見做して大過ない様である。

この意味に於いて、 $\bar{D}$  及び  $\bar{I}$  の變化をヴェクトル圖に表はしたものが第5圖であ



第5圖 成田層の自然残留磁氣方位の變化を示す

17) 永田武 震研彙報 21 (1943), 50

18) 同上

19) この點に關しては、二三の模型實驗を行つた上、數理的解析を行ふ豫定である。

るが、大勢に於いて  $\bar{D}$  の変化の方が  $\bar{I}$  のそれよりの大きい事は既述の如くである。更にこの圖に於いて、注意される事實は  $\bar{D}$  が 0 近くなると、即ち偏角が現在の地球磁氣偏角に近い部分では、 $\bar{I}$  も亦現在の伏角の値に近い事である。又  $\bar{D} \sim \bar{I}$  曲線の廻轉方向は必しも一方向きではなく、時針方向と反對時針方向とが混在してゐる。之等の事實が、現在極めて數少い地球磁氣永年變化に關する資料の一とならん事を願ふものである。

## 7. 結 語

成田層の殘留磁氣に就いては、その性質をかなりの程度迄明らかにする事が出来たが、その深さに對する分布を論ずるに當つて、深さ  $Z$ 、換言すれば成田層の堆積速度に就いては未だ量的な論據は殆んど吟味されてゐない。従つて第1圖及第2圖に於ける深さ  $Z$  を時間  $t$  に變換する事が出来ないので、§6 の吟味も地球磁氣の永年變化といふ意味では、未だ全く推論の域を出ないかも知れない<sup>20)</sup>。この點將來の努力に俟ちたいと思ふ。

この實驗の遂行に當つて、松澤武雄、坪井忠二兩教授より御注意、御激勵をいただいた。又津屋弘達、大塚彌之助兩教授には地質學的事項についていろいろ御教をいただいた。磁氣測定に當つては、越川巖、鈴木重信兩君の助力を得、又試料の顯微鏡検査には秋山俊子氏の助力を得た。此處に厚く感謝の意を表する。

尚ほ、この研究は一部は服部報公會の研究援助費、一部は文部省科學研究費によつて行はれたものである。記して謝意を表する。

20) 第1圖に於いて、上半と下半では堆積速度が著しく異なる様な印象を受けるので、例へば密度の測定等によつて、堆積速度の變化を吟味する様、中村左衛門太郎教授より御注意を受けた。この點も是非吟味を要する點であらうと思ふ。





第6圖 (a) 試料の採集場所 (千葉縣印幡沼畔, 京成臼井驛前切割)  
N, 成田層; C, 成田層中にある粘土の薄層; L, 關東ローム層



(b) 試料のブロックを切り出したとふろ。  
手にする箱中に嵌めこんで切り取る。



(c) 試料ブロックの方位を測る。

5. *Natural Remanent Magnetization of Sedimentary Rock, Part II.*

By

Takesi NAGATA,

Earthquake Research Institute;

Yosimiti HARADA and Kunio HIRAO,

Geophysical Institute.

The intensity and direction of natural remanent magnetization of Narita bed (a horizontal layer of Quaternary deposit widely distributed in the Kwanto District) were examined. In practice, the horizontal layer of Narita bed 470 cm in thickness from its upper boundary was divided into many horizontal layers 2 cm thick, from every one of which a specimen of 1.5 cm cube was cut off. The intensity and direction of natural remanent magnetization of all samples were measured by means of the apparatus described in the preceding paper. The results of measurement are shown in Fig. 1, where the direction of magnetization is expressed by both of the inclination  $I$  and the declination  $D$ , the latter being referred to the present geomagnetic meridian. As will be seen in Fig. 1, the direction of remanent magnetization changes quasi-periodically with the depth; this result will be more clearly seen in Fig. 2, where the smoothed curves of  $D$  and  $I$  are given.

Next, the physical meaning of the remanent magnetization of sedimentary rocks was examined from various points of view. Among a few probable processes of causation of the remanent magnetization, only a possible one is the followings:—

Many particles of magnetite contained in the igneous rocks, which had obtained the thermo-remanent magnetization during their cooling after their ejection or intrusion, were made free owing to weathering or other causes, depositing with the other non-magnetic minerals on the bottom of the sea or rivers. In the process of their deposition, those magnetized particles should be more or less affected by the geomagnetic field.

Receiving the above-mentioned assumption, we examined the reliability of the established relation between the direction of the remanent magnetization and that of the geomagnetic field.

(i) The ratio ( $\alpha$ ) of the intensity of natural remanent magnetization ( $J_n$ ) to that of thermo-remanent magnetization obtained during cooling in vacuum and in 0.45 Oe magnetic field ( $J_{0.4}$ ) was measured, the result being,

$$\alpha = J_n / J_{0.4} = 0.10 \sim 0.23,$$

while the average value of  $\alpha$ , is

$$\bar{\alpha} = 0.14$$

(ii) The volume-percentage and number of magnetites contained in the specimens were measured, the result showing that the intensity of natural remanent magnetization  $J_n$  is nearly proportional with the volume percentage, as shown in Fig. 3; and that the number of magnetite particles contained in the 1.5 cm cube specimen is larger than 7000.

(iii) The probability  $P$  of that the superposed intensity of  $N$  particles of



magnetized element ( $j_i$ ) becomes larger than  $a \times \sum_{i=1}^N |j_i|$  as the result of their random distribution was calculated. Putting  $N > 7,000$  and  $a > 0.10$ , we get  $P < 3.5 \times 10^{-45}$ .

This result will show that the natural remanent magnetization of Narita bed is not the resultant behaviour of random accumulation of magnetized particles but that of their regular arrangement, though there should be some disturbances.

Seeing that the effect of mutual magnetic interaction between these magnetized particles can be practically neglected, we can say that a possible external force to arrange them is the geomagnetic field alone, this conclusion leading the fairly reliable presumption that the change in  $D$  and  $I$  with the depth, given in Figs. 1 and 2, approximately shows the change in declination and inclination of geomagnetic field with time during the period of deposition of Narita bed.





## 6. 昭和18年9月10日鳥取地震の被害

地震研究所 岸 上 冬 彦

(昭和18年10月12日発表——昭和20年12月20日受理)

### は し が き

此の地震については本誌上既に調査の発表されたものがあるが、被害に關すること等、未だ残された所を記す。この地震と被害地域の似たものが此の約6箇月前即ち昭和18年3月4日にあつたこと<sup>1)</sup>は記憶に新しいことであるが、其迄は此の地方の多くの人々さへ殆ど地震の無かつた地方と思はれてゐた。併し史料<sup>2)</sup>を見ると正徳・寶永・明和・天保年間にあり、又京都附近その他に起つたものが此の地方まで震動したことも少くなかつた。

正徳元年2月1日(西曆1711年3月19日)の地震は、此の地方に今迄に起つたものの中最も強いものと思はれる。美作國の北西部にあたる大庭・眞島兩郡に潰家118軒、半潰141軒、山崩70箇所あり、因幡・伯耆兩國で家屋380餘倒れ、死者4名を出した。此より前、寶永7年1月25日(1710年2月3日)に鳥取に地震があり、同年閏8月11日(1710年10月3日)に因幡西部と美作に地震が起り、倉吉で家屋や土藏が破損し、所々に地割れを生じ、八幡町で60餘軒潰れた。更に正徳元年1月3日(1711年2月19日)に因幡國大谷ノ澤に鳴動があつた。此は、此の地方の地震は音を伴ふことから考へると小さな地震であつたと考へられる。此等の地震も昭和18年の地震も強震が1年以内といふ比較的短い時間をおいて起つたのは注意をひく所である。

### 東京における地震計の測定結果

東京本郷において測定した結果、主震の發震時は9月10日17時38分19.5秒、S-P 64.1<sup>1)</sup>秒、總繼續時間約2時間、南北動の最大振幅62.9mm、其の周期6.2秒、東西動では61.3mm 周期8.7秒であつた。其の後、地震計の記録裝置の不調の爲、缺測した時間があるが、12日迄に第1表に示す10回の餘震を記録した。

尙、其の後の餘震中、9月28日の倉吉附近に起つたものは、東京本郷において發震時7h 19 m 44.5 s、S-P は68.5 s、總繼續時間約11分、最大南北動の振幅0.93 mm 其の周期7.5 s、最大東西動0.42 mm 周期5.6 sであつた。當研究所によつて

1) 表 俊一郎 昭和18年3月4日鳥取地震調査報告

2) 震災豫防評議會 増訂大日本地震史料

第 1 表

| 発 震 時 |    |    |    |      | S-P  | Max. N-S  | Ampl. E-W |
|-------|----|----|----|------|------|-----------|-----------|
| 月     | 日  | h  | m  | s    | s    | mm s      | mm s      |
| 9     | 11 | 10 | 13 | 56.9 |      | 1.3 (6.0) | 0.8 (6.0) |
|       | 12 | 8  | 43 | 45.9 |      | 0.08(8.4) |           |
|       | 12 | 10 | 41 | 24.5 | 72   | 0.37(5.7) |           |
|       | 12 | 22 | 19 | 21.3 | 69.1 | 0.05(6.8) |           |
|       | 12 | 23 | 8  | 45.5 | 58.4 | 0.08(8.6) |           |
|       | 12 | 23 | 22 | 16.0 | 57.6 | 0.14(7.1) |           |
|       | 15 | 15 | 23 | 57.6 | 56.0 | 0.05(7.7) |           |
|       | 15 | 19 | 32 | 25.1 | 52.2 | 0.10(7.3) |           |
|       | 28 | 7  | 19 | 44.5 | 68.5 | 0.93(7.5) | 0.42(5.6) |

鳥取を中心に數個所の臨時の地震観測所が設けられ、餘震の観測が行はれたが、其の結果は別に報告されてゐる。

## 家屋の被害

地震による人及び家屋の被害を表で示せば次の通りである。

第 II 表

| 種 別<br>市郡別 | 人    |      |      |     |     |     |      |      |      | 家 屋  |      |     |     |
|------------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|
|            | 死 亡  |      |      | 重 傷 |     |     | 輕 傷  |      |      | 倒 壊  |      | 火 災 |     |
|            | 男    | 女    | 計    | 男   | 女   | 計   | 男    | 女    | 計    | 全 壊  | 半 壊  | 全 焼 | 半 焼 |
| 鳥 取 市      | 288  | 566  | 854  | 229 | 315 | 544 | 1009 | 999  | 1988 | 5754 | 3182 | 250 | 16  |
| 岩 見 郡      | 18   | 37   | 56   | 8   | 4   | 12  | 54   | 83   | 137  | 694  | 916  |     |     |
|            | (12) | (22) | (34) |     |     |     |      |      |      |      |      |     |     |
| 八 頭 郡      | 22   | 27   | 49   | 8   | 3   | 11  | 10   | 5    | 15   | 3    | 28   |     |     |
| 氣 高 郡      | 49   | 71   | 120  | 43  | 57  | 100 | 200  | 250  | 450  | 1014 | 1703 | 1   |     |
| 東 伯 郡      | 3    | 1    | 4    |     | 2   | 2   |      |      |      | 20   | 329  |     |     |
| 總 計        | 381  | 702  | 1083 | 288 | 381 | 669 | 1273 | 1337 | 2590 | 7485 | 6158 | 251 | 16  |
|            | (12) | (22) | (34) |     |     |     |      |      |      |      |      |     |     |

括弧内の數字は行衛不明者の數を示す。

(9月18日正午現在)

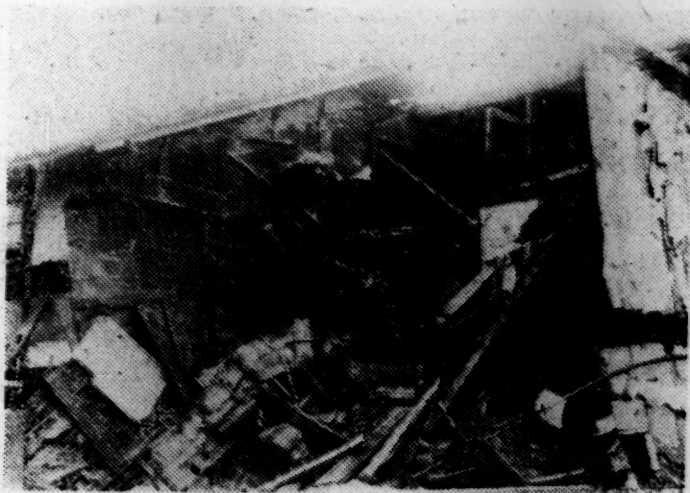
第2表で見られる通り、死傷者の約8割は鳥取市に生じ、家屋の倒潰も同所に多かつた。我が國都市の震災として最大級のものである。鳥取縣下の町村の全潰家屋と全戸數との比をとつて圖に示せば第1圖となる。此の圖は各町村の略中央に一定の大きさの圓をかき、その中の黒色の扇形の面積を以て全潰率を表はしたものである。此により鳥取市を始め、千代川の流域の被害の大きいことが明かである。一般に川の流域、言換へれば沖積土の上にあつた家屋の被害が大きかつた。

被害區域を細かく調べても同様で、鳥取市の北部久松山麓の被害は輕微で、南部の鳥





第 1 圖



第 2 圖

取市の商業地区及び鳥取驛と袋川との間の沖積土の厚い部分では殆ど全潰した。但し主要道路に面した商家の一部は建築がよく、周囲の倒潰したにも拘らず無事であつたものも相當數あつた。多くの商家は間・口4間奥行5~6間の二階建が多く、梁材は大きい爲上部が重く、家の前部は商品を置くので柱の数が少いが、後部は住居として柱の数も間切壁の面積も多いといふ状況であつたので、前半部の崩潰したものが多かつた(第2圖)。地震に対する悪い條件として、先づ前にも述べた鳥取市を貫く袋川の沖積土がある。此の川は近頃改修されたが、その前は屢々洪水を起し町々には避難用の舟が備へられてゐたといふ。洪水の爲と、年平均80%程度の湿度の多い所である爲とによつて家の土臺の腐つてゐたのが多かつた。市の南の紡績工場では鐵材で補強

はしてあつたが、作業上湿氣の多いことも腐朽を援けた様で、土臺が腐り耐震構造の効力が見られなかつた。

山の手住宅は外見は被害が無い様でも壁襖障子の被害は相當で、2階と1階の間で柱の折損してゐるものが多かつた。此等の損傷を受けた家は、餘程大きな破損でなければ時節柄部分的の補強をして修理を済ませたことが目についた。従つて平時の地震よりは被害を小さく見る傾向が多少あつたと思はれる。

鳥取市内で家の倒れるのに幾何時間がかゝつたかと聞くと、消防署の人は地震がはじまつて外に出やうと約 10 歩歩いた時に壊れた。その時間は 30 秒以内であらうといつてゐた。又他の人は距離 7~8m 歩いた時に家が倒れたといひ、家が倒れる前に 3 回大きく揺れたと話した人もゐた。一般に激震地域では地震が始まると殆ど同時に倒れることが多いが、鳥取では以上の様に多少の時間があつたやうである。このことは上下動が殆ど感ぜられなかつたといふ人々の話から説明できる。上下動の小さいことが此の地震本來の性質か、沖積土の爲かは未だ決定されない。此の地震動の加速度を墓石の高さと幅との比から求めると、最大 300~400 gal となり、多くの場合激震地域で 600 gal 或ひは其以上にもなることに比べて小さい値が出た。300~400 gal の場合でも水平動のみを考へず上下動を組合せれば地震動の加速度は 600 gal 程度となる。この様なことから上下動が小さい地震であつたと思はれる。すると震原は海中にあつたか、又は他の地震と周期がちがつてゐたとも考へられる。筆者が 9 月 14 日に荷物自動車にのり倉吉に地震計を据付けに行く途中、白兔附近で墓石が殆ど全部倒れてゐる様に見た。その後確かめることが出来なかつたからよく判



第 3 圖 (淺田氏寫)

らないが、或ひは此の附近では上下動を伴つたかも知れない。

鹿野斷層上の農家の震害については既に多くの記述がある<sup>3)</sup>が、未用の東側の家は草葺で西を正面とし、間口 6 間、奥行 3.5 間、天井の高さ 1.5 間で、屋根裏は物置となつてゐた。家の中央の大黒柱の北側に土間が東西に貫き北側には牛小屋・納屋になつてゐる。南の部分は板間又は疊敷の居間であつた。この殆ど中央を N70°E に斷層が通つたが南の半分は餘り被害なく、唯牛小屋になつてゐる所が約 1.5 m 東にずれたことが明らかであつた(第 3 圖)。此處で地震動について聞くと、斷層の動いた所は

3) 地震研究所彙報第 21 號第 1 冊 津屋・宮村・萩原三氏の論文中に記事がある。



見ず地震後気付いた。棚上の物は落ちなかつたが、位牌は倒れたと言ふことであつた。地震動の動きとは違ふものであらうが、地震断層の動きは急激でないといふ例となるものと考へられる。

此の断層の縣道を切る所で水平移動 1m, 垂直移動 60cm であつたが、縣道に沿つて東側の川の堤でコンクリートの舗装を切つてゐる。コンクリートの断片を見ると断層は横ずれと共に引離されてゐた(第4圖)。この見かけ上の伸びは堤防が彎曲したことによつて解釋出来るかも知れないが、彎曲は目につかぬ程度であつたので、念の爲断片の開いた間隔を次々に測つて加へれば

$$4.5+11.0+15.0+15.0-6.0+4.0+6.0+5.0=54.5\text{cm}$$

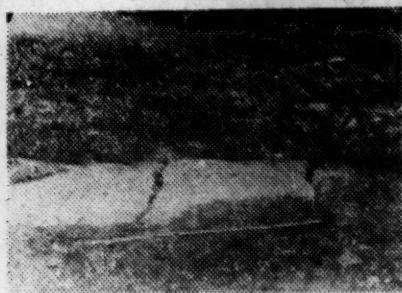
であつた。(寫眞第5~6圖参照)

#### 海岸の地形變動・津波・地下水の變化

潮差の小さい日本海側の地震では海岸の隆起又は沈降が屢認められたが、今回肉眼では認められなかつた。水準測量の結果でも 20cm 程度の沈下が鳥取市の北西部で現はれた程度であつた。津波は全く認められなかつた。地震直後地下水の涌出した所が多數あつた。例へば、鳥取市内各所で1分間位水が出た。竇木でも井戸や地割から水が 10 分間位出た。併し、この涌水と家屋の被害とは關係ないやうであつた。



第4圖



第5圖



第6圖

(淺田氏寫す)

#### 火災

地震による火災としては、地震直後に鳥取市内に 12 個所、郡部湖山町に 1 個所起り、翌 11 日 3 時迄に鎮火した。焼失面積と戸数の最大のものは桶屋・鍛冶・若櫻・職人の 4 町に亙るもので、45 戸全焼した。其の後 9 時から 22 時までの間に薬品又は倒潰家屋の下になつてゐた火から起つたものが 4 個所あつたが、12 日 22 時迄に鎮火した。

當時鳥取市の常備消防部員は 15 名、消防自動車 4 (300 ガロン 2, 600 ガロン 1, 550 ガロン 1), 手押ガソリンポンプ 2, ホースは三輪車 5, オート三輪車 1, その他腕用ポンプが 10 あつたのみで、設備は不十分であつた。

発火の原因は、地震が夕食の頃であつたので炊事の薪炭の火が主なもので、電気は発電所が震災の爲停電し、ガスは市の一部にあつたが地震直後供給を停めたので火事の原因とはならなかつた。驛前の乗合自動車の車庫では、倒れた屋根の下になつた自動車の木炭ガス発生爐の熱から火災となつたといふ特殊な例があつた。

全焼は住家 250 戸、非住家 156 戸以上、半焼は住家 16 戸、非住家数不明であつた。この様に相當大火となつたのは発火個所の数の多いこと、人家が稠密で倒れた家が重なり合つて延焼を助けたこと、地震によるポンプの故障によつて水道が止つた上、市内を流れる袋川の水位が低く水利が不便であつたこと、倒れた家屋が道路を塞ぎ (第 7 圖), 消防車が通れなかつたこと等による。時局柄各戸に貯水槽があつたが、地震により水が溢れ、又倒れた家屋の下になつて役に立たなかつたものが多い。國民學校の  $8\text{m} \times 25\text{m}$  の水槽が地震によつて割目がはいり漏れてしまつたものもあつた。



第 7 圖

消防を助けた人々は警察官 45, 警防團員約 500, 隣組から約 1000 名で、その他軍隊が道路上の倒壊家屋を取除き、他所からの應援の人々は主として人命救助に當つたが、多くの人々は主震及び餘震を恐れて消防には微力であつた。道路が塞つた爲に消防ホースを 20 本續けたり、水は河川のみならず下水まで利用し、バケツを手送する方法もとつた。隣組の行動にはよい指揮者があつた所では有効であつたといふ。火災の大きくなるのを妨げた条件としては、風が無く、湿度は 90% 以上で然も地震の前に



雨が降ったこと、家屋が倒れ破壊消防をしたと同様であつたこと等があげられた。

延焼速度は1時間に50~60mで、倒れた屋根の下で燃つてゐて時々火勢が強くなり煙をあげ、倒れて重なり合つた家屋に次々と燃え移つた。此の様な延焼状態の爲、前に述べた手送りの水でも相當に效力があつたのである。

以上の火災から考へられるのは、地震時は水道管や貯水池は破損することが多いから破壊消防を行はなければならないであらう。又道路が塞がれるので直に通行の妨害になるものを取除いたり、或ひは其に對抗出来る無限軌道を持つた消防自動車を用ひればよいと思ふ。

#### 其の他の被害

千代川流域では道路の地割れが多く、海岸の砂丘地域では土砂の崩れた所が多かつた。其の被害箇所は3月の地震の時と殆ど同じであつた。鐵道は鳥取市を中心に各所で不通となり復舊に9月23日迄かゝつたが、主な被害は山陰本線の岩美附近で土砂崩壊、築堤沈下、その他湖山・末恒附近の路盤沈下であつた。

#### 光り物

3月の地震に光り物が著しく、今回にも地震の数日前から末恒・寶木の沖合に光を認めたといふ人が多かつた。夏のこと故雷があつたことと、電燈會社の人・縣廳の役人・警察官等信用の出来ると思ふ人々が雷の電光は認めたが特殊な光は見なかつたといふ。

#### 謝 辭

この調査に當り震災地の多數官民諸氏から多大の援助を受けたことに對し、厚く感謝の意を表する。

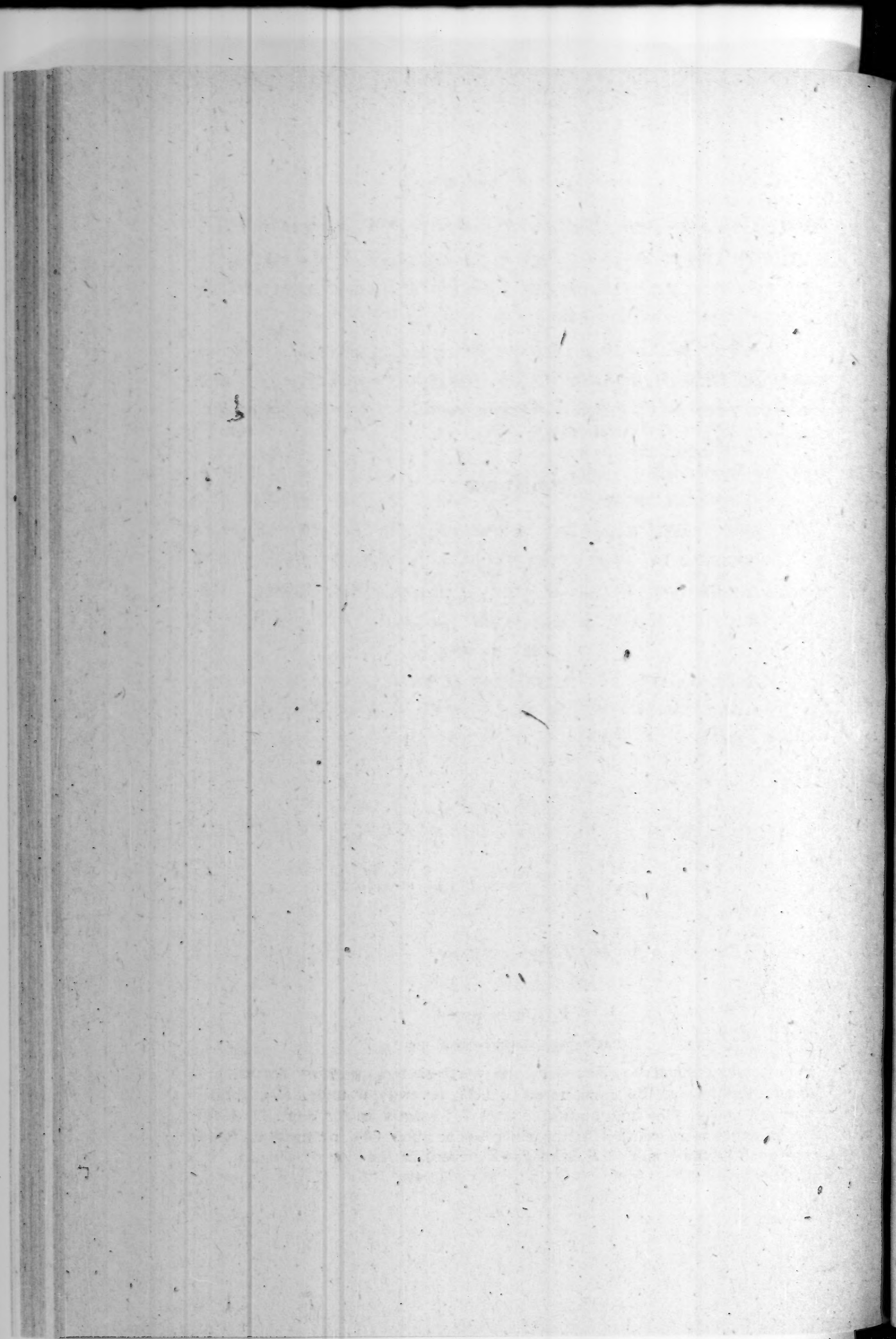
#### 6. *Damages from the Tottori Earthquake on Sept. 10, 1943.*

By

F. KISHINOUE,

Earthquake Research Institute.

A serious earthquake occurred in the north-eastern part of Tottori prefecture. The loss of life amounted to 1117, severely wounded 669, totally destroyed houses 7485 and burned houses 251 (statistics for Sept. 17, 1943). The damages were related to the river basin; about 80% of these damages were done in the basin of Hukuro-gawa (river) in the city of Tottori.





## ○談話會記事

## 第209回談話會(昭和20年1月16日)

1. 昭和19年12月7日東海地方地震調査報告
2. 昭和19年12月7日の地震に伴ふ津浪
3. 遠州灘地震の震害分布概報
4. 遠州灘地震における震害程度と鉛直磁力の分布(豫報)
5. 遠州灘地震の震害概報
6. 同上
7. 新しき地磁氣論 第二

宮 村 攝 三  
表 俊 一 郎  
水 上 武  
越 川 善 明  
齋 田 時 太 郎  
金 井 清

要 項 Snrface Harmonics の展開と對照——地球  
中核の迴轉周期は二日半なる證明——中核と  
地殻との中間に介在する物質の粘性率——地  
球外皮の磁性を地磁赤道より概観し得ること  
——地磁氣の數百年に亙る變動周期の説明

長 岡 半 太 郎

## 第210回談話會(昭和20年2月20日)

1. 1月13日の三河灣地震と遠州灘地震及三河灣地震によ  
る被害についての知多郡幡豆郡等に於ける見聞
2. 東南海地震等の通信調査について(二)
3. 島嶼の重力異常について
4. 地殻潮汐と地球の粘性
5. 熱對流説と地球の粘性
6. 大地震による受震指數の分布
7. 地磁氣論の刷新の必要

宮 村 攝 三  
{佐 藤 泰 夫  
鈴 木 大 郎  
竹 内 均

同 人  
同 人

坪 井 忠 二  
長 岡 半 太 郎

追 加 1. 1月13日三河地震調査概報

2. 三河地震の調査結果

{表 俊 一 郎  
萩 原 尊 禮  
宮 部 直 巳

## 第211回談話會(昭和20年3月20日)

1. 遠州灘地震に於ける被害程度と鉛直磁力の分布(第2報)
2. 演 題 未 定

越 川 善 明  
長 岡 半 太 郎

## 第212回談話會(昭和20年4月17日)

1. 滋賀縣下における地震に對する地盤の關係
2. 東海道地震にて變動せる太田川河口の杭列の測量結果
2. 東海道地震にて變動せる太田川河口の杭列の測量結果

宮 村 攝 三  
同 人  
同 人

## 第213回談話會（昭和20年6月19日）

1. 音波の空中より水中への入射について
2. 昭和二十年一月十三日三河地震餘震觀測（序報）
3. 東南海大地震及三河地震による地盤危險率の比較
5. 愛媛縣に於ける電氣探鑛

宮 村 攝 三  
表 俊 一 郎  
同 人  
岸 上 冬 彦

## 第214回談話會（昭和20年7月17日）

1. 東南海三河地震餘震分布
2. 有珠山の地震
3. 演 題 未 定

{水内 上 貞 武雄  
{水内 上 貞 武雄  
長 岡 半 太 郎

## 第215回談話會（昭和20年9月18日）

1. 分散性表面波の群速度に就て 第一報  
（表面層が一つある場合のラブ波の問題）

金 井 清

## 第216回談話會（昭和20年10月16日）

1. 磁氣制振器の制振力に就いて
2. 土壤中の電極について
3. 地震動の尾部の高橋伏見の方法による解析結果に就いて
4. 太平洋西岸に在る數地震帶の可塑的成因の説明

力 武 常 次  
岸 上 冬 彦  
表 俊 一 郎  
長 岡 半 太 郎

## 第217回談話會（昭和20年11月20日）

1. 有珠火山の活動
2. 土地の電氣的異方性
3. 新潟縣入廣瀬村に於ける電氣探鑛
4. 西太平洋地震帶の起因とインドネシアの形狀
5. サンドウィチ諸島の起因と太平洋島嶼分布の境界

水 上 武  
永 田 武  
岸 上 冬 彦  
力 武 常 次  
増 武 田 秀 夫  
長 岡 半 太 郎  
同 人

追加 木造家屋の被害率

宮 部 直 己

## 第218回談話會（昭和20年12月18日）

1. 通信調査により得られた地震の人體感覺に関する統計
2. 地震動の尾部に見られる表面層の自由振動に就いて
3. 改造した變位地震計
4. 變位地震計の振動倍率を試験する簡単な裝置
5. 原子爆彈災害調査報告爆風俤力の異常分布に就いて
6. テチス（Thetis）海の起因に就き

宮 村 攝 三  
表 俊 一 郎  
萩 原 尊 禮  
{萩 原 尊 禮  
村 内 必 禮  
{金 井 敏 典  
前 田 敏 典  
長 岡 半 太 郎



## 第 23 號 索 引

|                                                           | 頁  |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 萩原尊禮 (1) 異周期振幅の單弦振動の重ね合せによつて生ずる見かけ<br>上の周期について (邦文) ..... | 1  |
| 原田美道・永田武・平尾邦雄 (5) 水成岩の自然残留磁氣 (第2報)<br>(邦文) .....          | 79 |
| 平尾邦雄・永田武・原田美道 (5) 水成岩の自然残留磁氣 (第2報)<br>(邦文) .....          | 79 |
| 岸上冬彦 (6) 昭和18年9月10日鳥取地震の被害 (邦文) .....                     | 97 |
| 永田武・原田美道・平尾邦雄 (5) 水成岩の自然残留磁氣 (第2報)<br>(邦文) .....          | 79 |
| 表俊一郎 (4) 地震動の尾部について (其の3) (邦文) .....                      | 47 |
| 力武常次 (3) 磁氣制振器の制振力に就て (邦文) .....                          | 37 |
| 高橋龍太郎 (2) 海底の變動に因つて生ずる津浪について (第2報)<br>(邦文) .....          | 23 |

## Index to Vol. XXIII.

|                                                                                                                                                                                  | Page |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| HAGIWARA, T., (1) On the Periods of the Vibration that is produced by<br>Superposing Several Simple Harmonic Vibrations of Different Period<br>and Amplitude. (in Japanese)..... | 1    |
| HARADA, T., NAGATA, T. and HIRAO, K., (5) The Natural Remanent<br>Magnetism of Sedimentary Rock, Part II. (in Japanese) .....                                                    | 79   |
| HIRAO, K., MAGATA, T. and HARADA, Y., (5) The Natural Remanent<br>Magnetism of Sedimentary Rock, Part II. (in Japanese).....                                                     | 79   |
| KISHINOUE, F., (6) Damages from the Tottori Earthquake on Sep. 10,<br>1943. (in Japanese) .....                                                                                  | 97   |
| NAGATA, T., Y. HARADA and HIRAO, K., (5) The Natural Remanent Mag-<br>netism of Sedimentary Rock, Part II. (in Japanese) .....                                                   | 79   |
| OMOTE, S., (4), On the Cola Waves of Earthquake Motions. (Part 3) (in<br>Japanese) .....                                                                                         | 47   |
| RIKITAKE, T., (3) On the Damping Force of a Magnetic Damper. (in<br>Japanese) .....                                                                                              | 37   |
| TAKAHASI, R., (2) On the Seismic Sea Waves caused by Deformations<br>of the Sea Bottom. Second Report. (in Japanese) .....                                                       | 23   |



